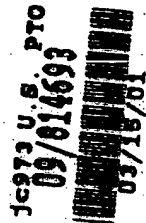


CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

本国特許庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

NT6298

#2  
6/20/01  
82



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office.

出願年月日

Date of Application:

2000年 3月31日

出願番号

Application Number:

特願2000-101239

出願人

Applicant (s):

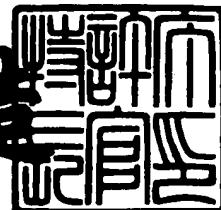
株式会社日立製作所

U.S. Appln. Filed 3-15-01  
Inventor: K. Tatsumi et al  
Mathingly Stanger & Major  
Docket HIT-272

2001年 2月23日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3010006

【書類名】 特許願

【整理番号】 NT00P0040

【提出日】 平成12年 3月31日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H04J 14/00

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所中央研究所内

【氏名】 立野 公男

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所中央研究所内

【氏名】 井戸 立身

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区戸塚町 2 1 6 番地 株式会社日立製作所通信事業部内

【氏名】 岩藤 泰典

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区戸塚町 2 1 6 番地 株式会社日立製作所通信事業部内

【氏名】 桑野 英之

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区戸塚町 2 1 6 番地 株式会社日立製作所通信事業部内

【氏名】 馬場 直彦

【特許出願人】

【識別番号】 000005108

【氏名又は名称】 株式会社日立製作所

【代理人】

【識別番号】 100068504

【弁理士】

【氏名又は名称】 小川 勝男

【電話番号】 03-3661-0071

【選任した代理人】

【識別番号】 100086656

【弁理士】

【氏名又は名称】 田中 恭助

【電話番号】 03-3661-0071

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 081423

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光伝送装置及びこれを用いた光システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 レーザ光源と、当該レーザ光源の光を平行平面波となし平行光路を形成する手段と、2つ以上の透過帯域を有する波長選択手段と、第1および第2の光検知器と、を少なくとも有し、前記波長選択手段は前記平行光路内に配置され、前記平行平面波を前記波長選択手段を透過した光と、前記波長選択手段を透過する光とは異なる光学特性の媒体を経由した少なくとも2つの光に分割し、この分割された一方の光を前記第1の光検知器で、この分割された他方の光を前記第2の光検知器手段で検知し、この第1の光検知器及びこの第2の光検知器よりのおのおのの光電流に基づく信号を比較し前記レーザ光源の発振波長を所望値になす為の信号を得、当該信号にて前記レーザ光源の波長制御を行うことを特徴とする光伝送装置。

【請求項 2】 レーザ光源と、当該レーザ光源の光を平行平面波となし平行光路を形成する手段と、前記平行平面波を分割する為の光学系と、2つ以上の透過帯域を有する波長選択手段と、第1および第2の光検知器と、を少なくとも有し、前記波長選択手段は前記平行光路内に配置され、前記平行平面波を分割する為の光学系によって前記平行平面波の前記波長選択手段を透過する光とこれ以外の光との少なくとも2つの光に分割し、この分割された一方の光を前記第1の光検知器で、この分割された他方の光を前記第2の光検知器手段で検知し、この第1の光検知器及びこの第2の光検知器よりのおのおのの光電流に基づく信号を比較し前記レーザ光源の発振波長を所望値になす為の信号を得、当該信号にて前記レーザ光源の波長制御を行うことを特徴とする光伝送装置。

【請求項 3】 レーザ光源と、当該レーザ光源の光を平行平面波となし平行光路を形成する手段と、前記平行平面波を分割する為の光学系と、波長選択手段と、第1および第2の光検知器と、を少なくとも有し、前記波長選択手段は前記平行光路内に配置され、且つ前記波長選択手段は所定波長間隔で存在する所望波長の光の複数の透過領域を有し、この光の複数の透過領域の何れかが前記レーザ光源が所望する発振波長に対応し、前記平行平面波を分割する為の光学系によって

前記平行平面波を前記波長選択手段を透過した光と、前記波長選択手段を透過する光とは異なる光学特性の媒体を経由した少なくとも2つの光に分割し、この分割された一方の光を前記第1の光検知器で、この分割された他方の光を前記第2の光検知器手段で検知し、この第1の光検知器及びこの第2の光検知器よりのおのおのの信号を比較し前記レーザ光源の発振波長を所望値になす為の信号を得、当該信号にて前記レーザ光源の波長を所定波長に制御することを特徴とする光伝送装置。

【請求項4】 レーザ光源と、当該レーザ光源の光を平行平面波となし平行光路を形成する手段と、前記平行平面波を分割する為の光学系と、波長選択手段と、第1および第2の光検知器と、を少なくとも有し、前記波長選択手段は前記平行光路内に配置され、前記レーザ光源は複数の発振波長が発振可能なレーザ光源であり、且つ前記波長選択手段は所定波長間隔で存在する所望波長での光の複数の透過領域を有し、この光の透過領域の波長間隔が波長多重光通信におけるチャネルグリッド間隔に相当し、且つ前記レーザ光源の複数の発振波長のいずれかは前記波長選択手段が有する前記光の複数の透過領域の最も透過率の高い波長領域を避けた所望波長に対応する発振波長に相当し、前記平行平面波を分割する為の光学系によって平行平面波の前記波長選択手段を透過した光と、前記波長選択手段を透過した光とは異なる光学特性の媒体を経由した少なくとも2つの光に分割し、これらの各光を受光する前記第1の光検知器及び前記第2の光検知器よりのおのおのの光電流に基づく信号を比較し前記レーザ光源の発振波長を所望値になす為の信号を得、当該信号にて前記レーザ光源の複数の発振波長のおのおのを所定波長に制御することを特徴とする光伝送装置。

【請求項5】 前記波長選択手段は、その媒質の屈折率が1.0より4.0の範囲、当該媒質の両反射面の反射率が20%より70%の範囲となされ、且つ当該媒質の厚さを、光の複数の透過領域を所定波長間隔で有せしめ、この光の複数の透過領域の何れかが前記レーザ光源が所望する発振波長に相当するごとく設定されたファブリペロー型エタロンであることを特徴とする請求項1より請求項4のいずれかに記載の光伝送装置。

【請求項 6】 前記波長選択手段は、温度特性あるいは屈折率の少なくともいずれかが異なる 2 種類ないしは 2 種類以上の材料を有して構成されたファブリペロー型エタロンなることを特徴とする請求項 1 より請求項 5 のいずれかに記載の光伝送装置。

【請求項 7】 波長多重光通信のチャンネルグリッド間隔に依存する前記ファブリペロー型エタロンの厚みを当該ファブリペロー型エタロンのフリースペクトラルレンジからずらせた値に設定し、前記ファブリペロー型エタロンの透過特性の温度特性を補償することを特徴とする請求項 1 より請求項 8 のいずれかに記載の光伝送装置。

【請求項 8】 前記光伝送装置は情報記憶部を、前記レーザ光源は温度検知手段を有し、前記情報記憶部に前記波長選択手段の光の透過領域の温度特性を記憶させ、前記温度検知手段からの信号と前記記憶された前記波長選択手段の光の透過領域の温度特性とに基づき、前記レーザ光源の発振波長と前記波長多重光通信のチャンネルグリッドの波長とのずれを補正することを特徴とする請求項 3 項又は請求項 4 に記載の光伝送装置。

【請求項 9】 請求項 1 より請求項 8 のいずれかに記載の光伝送装置において、前記レーザ光源が当該レーザ光源の光を平行平面波となし平行光路を形成する手段の光軸からずれた位置に配置するか、もしくは前記波長選択手段あるいは当該レーザ光を分割する手段への入射端面の法線を前記当該レーザ光源の光を平行平面波となし平行光路を形成する手段の光軸とは交差して配置されることを特徴とする光伝送装置。

【請求項 10】 請求項 1 より請求項 9 のいずれかに記載の光伝送装置を有することを特徴とする光システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本願発明は波長多重光通信システムに適用する光通信モジュールに関するものである。更には、本願発明はこうした光通信モジュールを用いた応用装置に関するものである。

## 【 0 0 0 2 】

## 【従来の技術】

光ファイバ通信は、長距離で高速大容量、かつ、強い電磁ノイズ耐性を持つため、高い信頼性を保証する通信システムの構築が可能である。このシステムでは一本の光ファイバに一つの波長の光を伝送させていたが、近年の大容量情報化社会の到来に伴って伝送容量の一層の拡大が要請されている。このため、一本の光ファイバに波長の異なる多数の光を伝送させ、通信のチャンネル数を増やして大容量化を実現する波長多重光通信システムの技術が実用化されるに至った。光ファイバ中を伝送する光の波長は、光ファイバの伝送損失が低い波長帯域が使われ、1.3ミクロン領域と1.5ミクロン領域が伝送のウインド（窓）と呼ばれている。これらのウインドの波長幅は限られているため、隣のチャンネルとの波長間隔を狭くすればするほど伝送のチャンネル数を増やすことができる。現在は、周波数間隔が200GHz、100GHzであるが、さらに50GHz、25GHzと狭くなる傾向である。波長間隔に直せばそれぞれ約1.6nm、0.8nm、0.4nm、0.2nmという狭いものとなる。このように波長間隔が狭くなると、レーザ光源の波長を精度良く一定に保つ必要が生じる。なぜなら、レーザ光源の波長が揺らいで隣のチャンネルの波長に達すると、受信側で隣の波長チャンネルとのクロストーク（漏話）が発生し、情報通信の信頼性が保証できないからである。これらの波長（または、周波数）チャンネルはITU-TS（International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector）グリッドと称されており、ITU勧告として広く認知されている。更には、経年変化に伴うレーザ光源の波長変動をも回避しなければならない。

## 【 0 0 0 3 】

この背景から、波長多重光通信のレーザ光源の波長を制御する方法が提案されて来た。この例は、例えば、日本国公開公報、特開平11-31859号公報（特願平9-186545号）に記載されている波長ロックの方法がその一つである。この例の基本構成を図1に示す。半導体レーザ1を出た光は、ファイバ2に導かれ、次いでレンズ3で集光され、第一のバンドパスフィルタ4を経てビームスプリッタ5に達する。このレーザ光はこのビームスプリッタ5で反射され、波

長選択素子、すなわち、誘電体の多層薄膜素子を利用したバンドパスフィルタ 8 にいたらしめる。そして、バンドパスフィルタの透過特性における肩のスロープ部を透過する透過光を光検知器 P D 1 で受光する。一方、前記バンドパスフィルタ 8 の反射光を光検知器 P D 2 で受光する。そして、この例では、この光受光器 P D 2 と前記光検知器 P D 1 の各々の光電流の差信号を波長ずれ検出信号としている。尚、ここで、符号 7 は光ファイバー、符号 9 は出力比算出手段であり、符号 1 0 は波長制御手段である。

## 【 0 0 0 4 】

しかし、この例では単一の透過ピークを持つバンドパスフィルタを用いているため、一種類のバンドパスフィルタでは異なる波長チャンネルには使えない。このため、上記 I T U - T S グリッド波長チャンネルに対応するためには、チャンネル数の数だけ異なるバンドパスをもつフィルタが必要になる。従って、これらを製造するに際して、工程管理が煩雑となって現実的でなくなる。

## 【 0 0 0 5 】

さらにこの例は、図 1 で明らかなようにレーザ光源からなる光通信モジュールとは別に波長ロックモジュールを用意し、光通信モジュールの一部の光を分岐して波長ロックモジュールに導いて波長ずれを検出し、光通信モジュール内のレーザ光源にフィードバックするしくみになっている。

## 【 0 0 0 6 】

この場合、レーザ光源モジュールと波長ロックモジュールを一体にし、波長ロック部をレーザ光源モジュールに内蔵した方が、さらに高いコストパフォーマンスを実現することができる。さらに、レーザ光源モジュールでは、ファイバ出力を一定に保つためのモニタ光を同時にとることが要求される。

## 【 0 0 0 7 】

又、日本国公開公報、特開平 1 0 - 7 9 7 2 3 号公報（特願平 9 - 1 8 6 2 0 4 号）には、波長ロック部がレーザモジュールに内蔵されている例が開示されている。また、図 2 に示すように波長選択素子にエタロン 1 8 を使用しているため、多重干渉の次数に応じて透過ピークが繰り返し出現する。このため、一つの波長選択素子で複数の波長チャンネルに波長ロックをかけることが可能となる。す

なわち、レーザ光源 1 2 からの発散光路中に平行平板（エタロン） 1 8 を斜めに配置し、直後に置かれた 2 連の光検知器 2 0, 2 2 で透過光を分割受光し、それらの光電流の差を波長ずれ検出信号 2 8 としている。尚、図において、符号 1 6 は光学レンズ、符号 1 2 はレーザ放出發散源、符号 1 4 は半導体レーザ端面を表わす。ここで、2 連の光検知器 2 0、2 2 に至る光はエタロンを通過する際、異なる光路長を有することが不可欠である。すなわち、エタロンには発散光、あるいは収束光を入射させる必要がある。平行平面波では光路差が生じないので 2 連の光検知器間で同一の信号となってしまう、差信号が発生しないからである。ところが、エタロンに発散光が入射すると、エタロンのフィネス（後述）が実効的に減少することは良く知られた事実である。また、エタロンが斜めに配置されるため、エタロンでの多重反射の回数が減少し、やはり実効的なフィネスの低下が起こる。実効的なフィネスが低下するとエタロンの分解能が下がり、波長のロック精度の低下をきたす。また、発散光のうち、2 連の光検知器 2 0, 2 2 に至る光の量は減少し、レーザ光源の光利用効率が下がる。さらに、レーザ光源モジュールでは、ファイバ出力を一定に保つためのモニタ光を同時にとることが要求される。

## 【 0 0 0 8 】

本願発明は、こうした諸問題の更なる進展を図るものである。

## 【 0 0 0 9 】

## 【発明が解決しようとする課題】

本願発明は、レーザ光源の発振波長を指定値にロックするための光学系とその制御系を提供する。この光学系は波長ロッカーモジュールとして別個に動作させることも可能であるが、レーザ光源を有する光通信モジュールへの内蔵が可能である。

## 【 0 0 1 0 】

波長多重光通信システムにおいては、波長の多重度向上による通信容量の増大化は避けられない状況である。このような状況下では、波長チャンネル間隔の狭帯域化による波長チャンネル間のクロストーク除去が強く要請される。つまり、より具体的な技術としては、レーザ光源の波長の変動を検出して光源にフィード

バックし、レーザ波長を精度良く、しかも高い光利用効率でロックする装置をモジュール内に内蔵することである。しかもITU-TSグリッドに対応する広い波長領域を通じて波長ロックをかける必要がある。

【0011】

そのための波長のずれを検出する波長選択素子として、上記ファブリペローエタロンがある。しかし、この素子を波長選択の分解能、光利用効率、レーザ光源モジュール内部への実装密度向上、機械的な安定性、温度変化に対するロック波長ずれの補正などの観点から、エタロンの性能を最大限に活用しなければならない。

【0012】

さらに、エタロンは平行平板板のため、平行光束中に置かれると反射光がレーザ光源に戻り、第2の共振器が構成されてレーザモード競合によるレーザ出力の揺らぎが発生する。

【0013】

本発明は上述したこれらの技術課題を解決するものである。

【0014】

【課題を解決するための手段】

本願発明の代表的な第1の観点は、レーザ光源と、当該レーザ光源の光を平行平面波となし平行光路を形成する手段と、波長選択手段と、複数の光検知器とを少なくとも有し、前記波長選択手段は前記平行光路内に配置され、且つ前記波長選択手段は少なくとも2つ以上の透過帯域を有し、前記平行平面波の前記波長選択手段を透過した光と、前記波長選択手段を透過した光とは異なる光学特性の媒体を経由した少なくとも2つの光に分割し、このおのこの光を前記複数の光検知手段で検知し、この複数の光検知手段よりのおのこの光電流の差信号に基づく所定信号を前記レーザ光源に帰還することを特徴とする光伝送装置である。

【0015】

本願発明の代表的な第2の形態は、レーザ光源と、当該レーザ光源の光を平行平面波となし平行光路を形成する手段と、波長選択手段と、複数の光検知器とを少なくとも有し、前記波長選択手段は前記平行光路内に配置され、且つ前記波長

選択手段は少なくとも2つ以上の透過帯域を有し、前記平行平面波の前記波長選択手段を透過した光と前記波長選択手段を透過せざる光との少なくとも2つの光に分割し、このおのおのの光を前記複数の光検知手段で検知し、この複数の光検知手段よりのおのおのの光電流の差信号の比較に基づく所定信号を前記レーザ光源に帰還することを特徴とする光伝送装置である。

## 【0016】

前記本願発明の諸形態では、前記の2つの光信号の差信号に基づいて、当該レーザ光源の発振波長の所望発振波長よりのずれ量を検出する。そして、当該差信号が零ないしは一定値になるように前記レーザ光源を変化させることによって当該発振波長の所望発振波長よりのずれを解消することを可能にする。以下に説明する本願発明の係る諸形態、諸実施の形態においてもこの発振波長のずれの解消の方法の基本は同様である。

## 【0017】

本願発明においては、平行平面波を用いるので、波長検知のための諸方策を取るに当って、光の損失がなく、光の利用率が極めて高い。これに対して、発散光を用いる場合は、光の発散に基づく光の損失があり、光の利用率は小さいものとなる。

## 【0018】

更に、波長選択手段の温度による透過特性の変化を補正することもより好ましい方策である。その代表的な例は、光伝送装置に情報記憶部を配置し、レーザ光源は温度検知手段を有せしめる。一方、前記情報記憶部に前記波長選択手段の光の透過領域の温度特性を記憶させておく。そして、前記温度検知手段からの信号と前記記憶された前記波長選択手段の光の透過領域の温度特性とに基づき、前記レーザ光源の発振波長と所定の波長とのずれを補正する。後述する波長多重光通信のチャネルグリッドの波長とのずれを補正するに極めて有用である。

## 【0019】

前記の平行平面波の分割は、例えば、前記波長選択手段よりの透過光と反射光の双方、あるいは透過光の光路を複数に分割する手段とを配置するのが代表的な例である。この分割の具体的な諸方法は後述される。

## 【 0 0 2 0 】

こうした構成によって、極めて高精度にレーザ光源の発振波長を固定することを可能にする。本構成は、前述のように平行光を用いるもで、極めて光の利用率が高い。この為、その制御の精度を極めて高くすることを可能とする。

## 【 0 0 2 1 】

前記レーザ光源は、通例の APC (Automatic Power Control) を有する半導体レーザ装置、あるいは半導体レーザ装置自体に波長制御手段を有するものなどを用いることが出来る。半導体レーザ装置自体に波長制御手段を有する例は、レーザ発振領域の近傍に温度の局所的制御手段、例えば、ヒータを配置し、この温度制御によってレーザ発振の発振周波数の変動を押さえるものである。あるいは、レーザ発振領域の近傍に、レーザ発振波長を制御する為の屈折率変調領域を配置し、この屈折率変調領域の近傍に温度の局所的制御手段、例えば、ヒータを配置し、この温度制御手段によってレーザ発振の発振周波数の変動を抑える例もある。あるいは、この屈折率変調領域に電流印加の手段を設けて、注入電流による屈折率変調を行う例もある。こうした波長制御の半導体レーザ装置の諸具体例については、実施の形態の欄において詳細に説明する。本願発明では、こうした各種レーザの波長制御手段に前記各光電流の差信号に基づく信号を帰還するのである。こうした波長可変の半導体レーザ装置を用いて本願発明を実施することは、より精密且つ微細な制御を可能とする。

## 【 0 0 2 2 】

更に、通例、半導体レーザ装置にはこの装置の温度を制御する手段を有している。この温度制御手段に前記各光電流の差信号に基づく信号を帰還することが可能である。そして、この方法は、前述の単なる APC への帰還より、より安定な発振を得ることが出来る。前記半導体レーザ装置の温度を制御する手段の代表的な具体例は、例えばペルチエ素子である。このペルチエ素子の上部に当該半導体レーザ装置が搭載されているのが通例である。

## 【 0 0 2 3 】

レーザ光源の光を平行平面波となし平行光路を形成する手段は、通例のコリメータ素子、例えば非球面レンズ、組レンズ、ボールレンズ、セルフロックレンズ

などを用いて十分である。そして、当該平行平面波は、本願の発明の目的には、波長の 1 0 倍以下の平面度をもつ平行平面波となすのが好ましい。

#### 【 0 0 2 4 】

こうした平行平面波は半導体レーザ装置の情報伝達側に放射される光、あるいはこれと反対側に放射される光のいずれを用いても、本願発明の光伝送装置を構成することが出来る。又、当該半導体レーザ装置より前記平行光路を形成する手段へは、直接光が導かれる場合と、この間に所望の光学部材が配置される場合とがあり得る。しかし、本願発明の実施においては、いずれの場合でも、これの応じて所望のモジュールを構成することが出来る。本願発明においては、半導体レーザ装置よりの光が平行平面波となり得れば良いのである。

#### 【 0 0 2 5 】

前記少なくとも 2 つ以上の透過帯域を持つ波長選択手段の代表例はファブリペロー構造の波長選択透過型フィルタである。当該フィルタの代表例はファブリペローエタロン（通例、略して単にエタロンと称されており、本願明細書でも以下単にエタロンと称する）である。エタロンにはファブリペロー干渉系の内、反射膜間の物理的距離が固定のものと、P Z T 駆動によってその距離が可変なものもある。又、エタロンの反射面間が気体のものと、固体のものの 2 つに大別される。前者はエアースペース型、あるいはエアギャップ型と称され、後者はソリッド型と称される。本願発明は基本的にいずれの形態も用いることが出来る。

#### 【 0 0 2 6 】

ファブリペロー型エタロンとして、次ぎのような構成を取ることによって、レーザ光源の複数波長を所定波長に固定するのに、極めて有用である。即ち、エタロンの媒質の屈折率が 1. 0 より 4. 0 の範囲、当該媒質の両反射面の膜反射率が 2 0 % より 7 0 % の範囲となされ、且つ当該媒質の厚さを、所定波長間隔で存在する所望波長での光の複数の透過領域を有せしめ、この光の複数の透過領域の何れかが前記レーザ光源が所望する発振波長に対応するごとく設定するのである。尚、勿論、光検知の為の諸部材の設計によるが、上述の媒質の両反射面の膜反射率は 2 0 % より 5 0 % の範囲は、一般に誤差信号の検知により有利である。それは、波長変化に対するエタロンの透過特性の変化が大きい領域を用いることと

なる為である。

【 0 0 2 7 】

この構成によれば、送信する複数波長をエタロンによっていずれの波長をも一定値に保つ事が出来る。わけても、波長多重通信におけるチャネルグリッドにエタロンの透過特性を合致させることによって、実用上極めて簡便、簡易に高精度の波長の安定化を実現することが出来る。また、複数波長に対応するにもかかわらずエタロンを用いることで、通例のモジュールに、容易に実装することが出来る。

【 0 0 2 8 】

又、前記レーザ光源の発振波長と前記波長選択手段が有する前記光の透過領域とを対応させる際、この透過領域の最も透過率の高い波長領域を避けた所望波長に対応する発振波長に相当させるのが、より好ましい。この形態はより実用的であると言うことが出来る。それは、光の波長に対する前記透過特性の関係が大きな勾配を有している領域に当該レーザ光源の発振波長が存在する方が、発振波長のずれに対してより有効にこのずれを検知するからである。言葉を換えれば、波長分解能が他の方策と比較して、高いと言うことができる。光の波長に対する波長選択手段の透過特性の関係が比較的平坦な特性を有する場合、発振波長のずれに対する光電流の変化は比較的小さなものになる。

【 0 0 2 9 】

先に述べたように、本願発明では、平行平面波を前記波長選択手段を透過した光と、波長選択手段を透過した光とは異なる光学特性の媒体を経由した少なくとも2つの光に分割しする必要がある。波長選択手段を透過した光とは異なる光学特性の媒体を経由せしめる方策は各種の方法が考慮される。ここで、本願明細書における「波長選択手段を透過した光とは異なる光学特性の媒体」とは、当該光路として、透光性の固体媒質の場合、空気あるいは気体の場合、反射鏡を含む光路、光路分割手段、あるいはこれらが混在する光路など一般を示している。要は、当該光路が前記波長選択手段を透過した光とは異なる光強度を得ることが出来る光路であれば良い。尚、前記の媒体としての空気での光路は一般の空間での光路を意味している。以下に示す光路を複数に分割する手段の具体例を参酌すれば

、その意味は十分理解されるであろう。

【 0 0 3 0 】

さて、前記光路を複数に分割する手段は、通例の光路分割手段を用いて十分である。この代表的な諸例は振幅分割型ビームスプリッタおよび波面分割型ビームスプリッタである。

【 0 0 3 1 】

更に、この光路を複数に分割するに際しては、複数の方法が考慮される。その代表的な諸例を列挙すれば、次ぎの通りである。第 1 より第 5 は光路分割手段として振幅分割型ビームスプリッタを用いた場合の諸例、第 6 は波面分割型ビームスプリッタを用いた場合の例である。

【 0 0 3 2 】

その第 1 は、前記光路分割手段の反射光と、この光路分割手段の透過光とに分割する。そして、この光路分割手段の透過光を波長選択手段に入射し、この波長選択手段の透過光と、前記光路分割手段での反射光とを用いて差信号を得る。

【 0 0 3 3 】

第 2 は、前記光路分割手段の反射光と、この光路分割手段の透過光とに分割する。そして、この光路分割手段の透過光を波長選択手段に入射し、この波長選択手段での反射光と、前記光路分割手段の反射光とを用いて差信号を得る。

【 0 0 3 4 】

第 3 は、前記光路分割手段の透過光と、この光路分割手段の反射光とに分割する。そして、この光路分割手段の反射光を波長選択手段に入射し、この波長選択手段の透過光と、前記光路分割手段の透過光とを用いて差信号を得る。

【 0 0 3 5 】

第 4 は、前記光路分割手段の透過光と、この光路分割手段の反射光とに分割する。そして、この光路分割手段の反射光を波長選択手段に入射し、この波長選択手段での反射光と、前記光路分割手段の透過光とを用いて差信号を得る。

【 0 0 3 6 】

第 5 は、前記光路分割手段の反射光を波長選択手段に入射する。この波長選択手段の透過光と、波長選択手段での反射光とを用いて差信号を得る。

## 【 0 0 3 7 】

第 6 は、波面を 2 分割し、この分割された第 1 の部分を波長選択手段に入射し、この波長選択手段の透過光と、前記分割された第 2 の部分の光の強度に基づいて差信号を得る。

## 【 0 0 3 8 】

第 7 は、波面を 2 分割し、この分割された第 1 の部分を波長選択手段に入射し、この波長選択手段の反射光と、前記分割された第 2 の部分の光の強度に基づいて差信号を得る。

## 【 0 0 3 9 】

本願発明の代表的な第 3 の形態は、レーザ光源と、当該レーザ光源の光を平行平面波となし平行光路を形成する手段と、波長選択手段と、複数の光検知器とを少なくとも有し、前記波長選択手段は前記平行光路内に配置され、且つ前記波長選択手段は複数且つ所定波長間隔に存在する光の透過領域を有し、前記レーザ光源の発振波長が前記波長選択手段が有する前記光の透過領域のいずれかに合致し、平行平面波の前記波長選択手段を透過した光と、前記波長選択手段を透過した光とは異なる光学特性の媒体を経由した少なくとも 2 つの光に分割し、このおのおの光を前記複数の光検知手段で検知し、この複数の光検知手段よりのおのおの光電流の差信号に基づく所定信号を前記レーザ光源に帰還することを特徴とする光伝送装置である。

## 【 0 0 4 0 】

本形態を用いることによって、次ぎのような新たな観点の実施を可能とする。

## 【 0 0 4 1 】

本願発明の第 2 の主要な観点は、前記波長選択手段のフリースペクトラルレンジを、波長多重光通信のチャンネルグリッド間隔に合わせ、当該レーザ光源の波長を変化させて、この波長を該グリッドの所望の値に固定する方法である。本例の重要な点は、波長選択手段のフリースペクトラルレンジを、波長多重光通信のチャンネルグリッド間隔に合わせることが出来ることである。このことをレーザ光源の波長のロックに利用することによって、より高精度に且つ簡便に当該波長制御レーザ装置の発振波長を、波長多重光通信のチャンネルグリッドに適合させ

ることが可能となる。尚、レーザ光源の発振波長を固定する方法は前記第 1 の形態で説明したものと同様に実施することが出来る。

【 0 0 4 2 】

更に、本例に対しては、発振部を複数有し、この発振部によって複数の発振波長での発振を可能とするレーザ光源、半導体レーザ装置を用いることが出来る。この場合、各発振部に対応してこれまでのべてきた発振波長の固定化の方策を取る。波長選択手段のフリースペクトラルレンジを、波長多重光通信のチャンネルグリッド間隔に合わせてあるので、本形態は、ひとつの波長選択手段でもって、複数の波長に対する固定化の方策を提供することが出来る。本形態は極めて簡便な方策である。

【 0 0 4 3 】

本願発明の第 3 の主要な観点は、前記レーザ光源が当該レーザ光源の光を平行平面波となし平行光路を形成する手段の光軸からずれた位置に配置する、あるいは前記波長選択手段あるいは当該レーザ光を分割する手段への入射端面の法線を前記当該レーザ光源の光を平行平面波となし平行光路を形成する手段の光軸とは交差して配置することである。

【 0 0 4 4 】

レーザ光源の光を平行平面波となす最も代表的な手段は、コリメータ素子である。こうした観点でより具体的に本願の第 3 の観点を述べれば、前記レーザ光源を該コリメータ素子の光軸からはずして配置するか、あるいは、前記波長選択素子、あるいは、前記光路分割手段の各々の入射端面の法線を前記コリメータ素子の光軸に対して傾けて配置し、前記各々の光学素子端面からの反射光が前記レーザ光源に戻らないようにするものである。本形態を本願の前記第 1 あるいは第 2 の形態と併せ用いることによって、実用的に極めて有用な形態を提供することが出来る。

【 0 0 4 5 】

更に、本願の光伝送装置は極めて安定した発振波長のレーザ装置であるので、各種光システムに用いて有用である。わけても、本願発明の光伝送装置は多重光伝送システムに適用して有用である。

## 【 0 0 4 6 】

## 【発明の実施の形態】

本願発明の実施の諸形態を説明するに先だって、本願の主な実施の諸形態の概要を以下に列挙する。次いで、本願の主要な構成部材であるファブリペロー型エタロンの具体的構成を予め詳細に説明する。

## 【 0 0 4 7 】

本願の第 1 の実施の形態は、波長可変レーザ光源、あるいは、前記波長可変レーザ光源の変調器を集積した光源の後方、あるいは、前方から直接、あるいは間接的に導かれた発散光をコリメータ素子で、波長の 1 0 倍以下の平面度をもつ平行平面波として平行光路を形成し、前記平行光路中に少なくとも 2 つ以上の透過ピークを持つ波長選択素子を配置し、前記波長選択素子の透過光、あるいは、反射光の光路分割手段を有し、前記分割光を複数の光検知器に導き、前記各々の光検知器に流れる光電流の差で前記レーザ光源の発振波長ずれ量を検出し、前記光電流の差が一定値となるように前記レーザ光源の波長を制御する手段を有し、かつ、前記レーザ光源を前記コリメータ素子の光軸からはずして配置するか、あるいは、前記波長選択素子、あるいは、前記光路分割手段の各々の入射端面の法線を前記コリメータ素子の光軸に対して傾けて配置し、前記各々の光学素子端面からの反射光が前記レーザ光源に戻らないようにすることを特徴とする光伝送装置である。

## 【 0 0 4 8 】

本願の第 2 の実施の形態は、前記波長選択素子をファブリペロー型エタロン、前記平行光路中に配置する光路分割手段を振幅分割型ビームスプリッタとすることを特徴とする本願の光伝送装置である。この例は、実用的な代表例である。

## 【 0 0 4 9 】

本願の第 3 の実施の形態は、前記ファブリペローエタロンのフリースペクトラルレンジを、波長多重光通信のチャンネルグリッド間隔に合わせ、前記レーザ光源の波長を変化させて前記グリッドの任意の値にロックする手段を有することを特徴とする本願の光伝送装置である。

## 【 0 0 5 0 】

これまで、レーザ光源の発振波長について考察してきたが、本願の第4の実施の形態は、レーザ光源の光出力の制御に関する方策である。通例、こうした光出力のモニターは、情報伝達に用いる光出力とは反対の端面より放射される光によってなされている。しかし、本願に示した諸発明の形態を利用すれば、前記複数の光検知器のうちの少なくとも1個に流れる光電流、あるいは、少なくとも2個以上の光検知器に流れる光電流の和が、一定となるように前記レーザ光源の光出力を一定に保持すれば好都合である。

## 【 0 0 5 1 】

本願の第4の実施の形態は、前記波長選択素子が、前記レーザ光源の波長の程度のテーパをつけたファブリペローエタロンあるいは、屈折率の異なるガラス材料からなる2つの平行平面板を平面方向に張り合わせたファブリペローエタロンであり、前記エタロンの入射面の異なる位置を通過する平面波間に光路差がつくように構成し、前記ファブリペローエタロンの透過光を空間的に分割して各々2連の光検知器に導く手段を有することを特徴とする本願の光伝送装置である。

## 【 0 0 5 2 】

本願の第5の実施の形態は、前記ファブリペローエタロンが、少なくとも2枚の透明基板の間に屈折率と長さの積の温度係数の正負が前記透明基板と逆になる構造を持ち、前記ファブリペローエタロンを通過する光の光路差の温度変化を減少したことを特徴とする本願の光伝送装置である。

## 【 0 0 5 3 】

本願の第6の実施の形態は、前記ファブリペローエタロンのフリースペクトラルレンジを、波長多重光通信のチャンネルグリッド間隔に合わせ、かつ、前記ファブリペローエタロンの透過ピークの温度特性を半導体メモリに記憶させ、温度検知器からの信号により、前記波長可変レーザ光源の発振波長と前記波長多重光通信のチャンネル波長とのずれを補正する手段を有することを特徴とする本願の光伝送装置である。

## 【 0 0 5 4 】

本願の第7の実施の形態は、波長多重光通信のチャンネルグリッド間隔で決ま

る前記ファブリペローエタロンの厚みををフリースpektralレンジからずらせた値とすることにより、前記ファブリペローエタロンの透過ピークの温度特性を補償することを特徴とする本願の光伝送装置である。

## 【 0 0 5 5 】

本願の第 8 の実施の形態は、前記レーザ波長制御手段の一部、あるいは全てをレーザ光源モジュールのパッケージに内蔵することを特徴とする本願の光伝送装置である。。

## 【 0 0 5 6 】

本願の第 9 の実施の形態は、前記レーザ波長制御手段を有するレーザ光源を複数個並列し、各々のレーザ光源がカバーする可変波長領域を合わせる手段を有することを特徴とする本願の光伝送装置である。

## 【 0 0 5 7 】

次いで、ファブリペロー型エタロンの具体的構成を予め詳細に説明する。図 3 は本願発明に適用するエタロンの原理を説明する為の図である。図は基本要素の断面と光の状態を図示している。エタロンの基本構成は、高い平行度と平面度を持つ平行平板である。そして、これら反射面間、即ち、半透明膜の間に気体あるいは固体が配される。即ち、対向する一対の高反射率の層にスペーサたる媒質が挟まれた光の共振器である。その具体的構成は、例えば、ガラス基板上に反射鏡、スペーサ、反射鏡の各層が積層された共振器である。別な例はガラス基板の両面に反射鏡の層が形成された共振器である。こうした本願発明に係るエタロンは、波長選択透過型フィルタであるが、2 つ以上の透過帯域を持つことが肝要である。この点は、従来より知られているいわゆる干渉膜多層フィルターを用いたバンドパスフィルタとは、基本特性が異なる。

## 【 0 0 5 8 】

このエタロンを透過した光は、その波長の変動に対して、繰り返しピークを発生する。入射角  $\theta$  でエタロンに入射した光 1 0 0 はエタロン 1 0 1 の 2 つの面で繰り返し多数回反射する。図中、A 1 および A 2 は入射光の位置を例示するものである。そして、図の B 1 および B 2 の位置に、光 T 1 および T 2 が透過光を例示するものである。R 1 および R 2 は反射光を例示するものである。こうして発

生する多くの波面が干渉する結果、以下のような透過光  $I_t$  が得られる。

【0059】

$$I_t = 1 / (1 + F \sin^2(\phi)) \quad \dots \dots (1)$$

$$\text{ここに、} F = 4R / (1 - R)^2 \quad \dots \dots (2)$$

$$\phi = (2\pi n t / \lambda) \cos \theta' \quad \dots \dots (3)$$

である。更に、 $R$  はエタロン 101 各面 1、2 の膜反射率、 $n$  はエタロンの屈折率、 $t$  はエタロンの厚さ、 $\lambda$  は光の波長、そして、 $\theta'$  はエタロン内で光線のなす角度である。

【0060】

ここで、スネルの法則

$$\sin \theta = n \sin \theta' \quad \dots \dots (4)$$

が成り立つ。

【0061】

図 3 B は膜反射率  $R$  をパラメータとして式 (1) をグラフにしたものである。図 3 B では、縦軸は透過光の強度（任意単位）、横軸は位相差である。この位相差は  $2\pi (n t / \lambda) \cos (\theta / n)$  で表わされる。

【0062】

ここで、エタロンの共振の鋭さを表すパラメータとして、フィネス  $\Phi$  を定義する。

【0063】

$$\Phi = (\pi \sqrt{F}) / 2 \quad \dots \dots (5)$$

さらに、繰り返しピークの間隔はフリースペクトラルレンジ (Free Spectral Range)  $FSR$  と呼ばれる。

【0064】

$$\text{そして、波長域では、} FSR = \lambda^2 / 2 n t \quad \dots \dots (6)$$

$$\text{周波数域では、光速を } c \text{ として、} FSR = c / 2 n t \quad \dots \dots (7)$$

で与えられる。

【0065】

フィネスと  $FSR$  には次の関係がある。

【 0 0 6 6 】

$$\Phi = FSR / \varepsilon \quad \dots\dots (8)$$

ここに、 $\varepsilon$  は透過ピークの半値幅である。

【 0 0 6 7 】

従って、エタロンの厚み  $t$ 、屈折率  $n$ 、膜反射率  $R$  を設計すれば、 $FSR$  を  $ITU-TS$  グリッドに一致させることができる。

【 0 0 6 8 】

$FSR$  を  $ITU-TS$  グリッドに一致させることは、広い波長範囲に渡って所望の鋭い波長選択特性を持った波長誤差検出を実現することを可能とする。

【 0 0 6 9 】

この目的には、わけても、エタロンの媒質の屈折率が 1.0 より 4.0 の範囲、当該媒質の両反射面の膜反射率が 20% より 70% の範囲を多くの場合用いる。そして、当該媒質の厚さを  $t = c / (2n \cdot FSR)$  で設定することで、 $FSR$  を  $ITU-TS$  グリッドに対応するエタロンを得ることができる。こうして、所定波長間隔で存在する所望波長での光の複数の透過領域を有せしめ、この光の複数の透過領域の何れかが前記レーザ光源が所望する発振波長に対応させることができる。尚、エタロンの媒質の厚さは、0.1 mm より 10 mm 程度の範囲を多くの場合用いる。膜反射率が 20% より 50% の範囲がより実用性が高いことは前述した通りである。

【 0 0 7 0 】

本発明の解決手段を構成する第 2 の要素はレーザ光源である。レーザ光源の波長は、例えば半導体レーザのように駆動電流、あるいは、動作温度を変えて変化させることができる。図 4 は半導体レーザの温度と発振波長の関係を例示する図である。このレーザの発振波長は、光通信分野では、前述した  $ITU-T$  のグリッドに対応することとなる。縦軸にこの意味で  $ITU-T$  のグリッドと表示した。通常の半導体レーザでは、図 4 に示したように温度が 1℃ 変わると波長は 0.1 nm 変化する。本願発明ではこうした発振波長を変えることのできるレーザ光源を使用する。レーザ光源としては、その発振強度を変調する変調器を集積したレーザ光源の後方、あるいは前方からの発散光を直接、あるいは、一旦ファイバ

、変調器、スイッチなどの光導波路を経て間接的に導かれた後の発散光を使う場合もある。

#### 【 0 0 7 1 】

図 5 は本願発明の解決手段の基本構成を示すものである。すなわち、上記各種レーザ光源 1 0 0 からの発散光を、レンズや回折格子になる素子などのコリメータ 1 0 2 で集光し、平行平面波としての光路 1 0 3 を形成する。得られた平行平面波の平面度は、波面収差にして大きくとも波長の 1 0 倍以下とする。かくして得られた平行光束 1 0 3 中に本発明の構成要素である光路分割素子 1 0 4 を配置し、その分岐光中に光検知器 1 1 5 を配置してレーザ光源 1 0 0 の光出力のモニタに使用する。

#### 【 0 0 7 2 】

一方、光路分割素子 1 0 4 の透過光 1 0 5 中に少なくとも 2 つ以上の透過ピークを周期的に持つエタロンなどの波長選択素子 1 0 6 を配置し、その後に光検知器 1 0 9 を置いて波長選択された光 1 0 7 を受光する。そして、前記光出力モニタ用の光検知器 1 1 5 に流れる光電流  $P_m$  と、エタロン 1 0 6 の後におかれた波長モニタ用の光検知器 1 0 9 に式 (1) に従って流れる光電流  $P_t$  との差を誤差信号とする。そして、この値がゼロ、あるいは、一定の値になるように所定信号をレーザ光源 1 0 0 にフィードバックするものである。

#### 【 0 0 7 3 】

すなわち、数式で表記すれば、誤差信号  $A(\lambda)$  は

$$A(\lambda) = P_t - P_m \dots \dots (9)$$

となる。

#### 【 0 0 7 4 】

式 (9) を図示したものが図 6 である。横軸は波長差、縦軸は誤差信号 (任意単位) である。この例は波長ロックの為の光学系を前方のファイバ側に配置した例であると言える。

#### 【 0 0 7 5 】

誤差信号としては、光量で正規化した信号、

$$A(\lambda) = (P_t - P_m) / (P_t + P_m) \dots \dots (10)$$

を用いることも可能である。さらに、本発明では、後述のように、エタロン 1 0 6 の反射光と透過光の差を取って、これを誤差信号とすることも可能である。

又、実際の信号処理では、前記の両者の光電流に基づく両信号の差信号を取るに当って、所望の係数を乗じて差信号を取ることも考慮される。例えば、透過光 P D 1 と反射光 P D 2 とを比較するに当って、 $P D 1 - \alpha P D 2$  がゼロないしは所定の値となす方法などである。

#### 【 0 0 7 6 】

以上の配置で、エタロン 1 0 6 や光路分割素子 1 0 4 の表面からの反射光がレーザ光源 1 0 0 に戻ると、半導体レーザにとって外部に第 2 の共振器が形成されてレーザ出力が揺らぐという問題が生じる。

#### 【 0 0 7 7 】

即ち、図 7 は半導体レーザ自身の共振器 1 9 0 とその外部に存在するミラー 1 9 1 の関係を示すものである。図では共振器 1 9 0 の両反射面を 1 9 0 - 1 および 1 9 0 - 2 と模式的に表わした。図 7 の上段はこの共振器とミラーの関係、下段は発振状態を示す。外部のミラー 1 9 1 が存在すると、半導体レーザの発振モード 1 9 2 の間に新たに外部共振器のモード 1 9 3 が生じる。これらのモードは半導体レーザのゲインカーブ 1 9 4 の領域に入るため、レーザ発振が起こりうる。このため、多くのモード間で発振の競合が起こり、半導体レーザの出力が揺らぐ。この揺らぎが戻り光ノイズといわれる雑音である。

#### 【 0 0 7 8 】

この問題を解決するための代表的な方策は次ぎのような方法である。即ち、それは、レーザ光源が当該レーザ光源の光を平行平面波となし平行光路を形成する手段の光軸からずれた位置に配置するか、もしくは前記波長選択手段あるいは当該レーザ光を分割する手段への入射端面の法線を前記当該レーザ光源の光を平行平面波となし平行光路を形成する手段の光軸とは交差して配置されることである。

#### 【 0 0 7 9 】

第 1 は、図 8 A に示すようにレーザ光源 1 0 0 をコリメータレンズ 1 9 6 の光軸 1 9 7 からはずす例である。こうすることで、エタロン、あるいは、光検知器

の反射面 1 9 8 からの反射戻り光は光軸の反対側 1 9 9 に結像する。こうして、反射光はレーザ光源 1 0 0 に帰還しない。コリメータレンズ 1 9 6 の焦点距離を  $f$ 、レーザの発光サイズを  $a$  とした時、通例  $f \theta > a$  となるような角度  $\theta$  でコリメータレンズ 1 9 6 の光軸 1 9 7 からレーザ光源をずらして設置する。この為、反射面 1 9 8 よりの反射光は 1 9 9 の位置に集光されることとなる。

## 【 0 0 8 0 】

第 2 は、図 8 B に示すようにエタロン、あるいは、光検知器の反射面 1 9 8 の法線とコリメータ 1 9 6 の光軸 1 9 7 に角度  $\theta$  をつける方法である。こうすることで、反射戻り光が、レーザ光源 1 0 0 にもどらないようにするものである。この場合も少なくとも前述の第 1 の例と同様の角度  $\theta$  で角度をつければ良い。この為、反射面 1 9 8 よりの反射光は 1 9 9 の位置に集光されることとなる。

## 【 0 0 8 1 】

また、本発明の他の手段として、上記平行光束中に、僅かにテーパをつけたファブリペローエタロンを置き、その直後に置いた 2 つの光検知器で受光する手段をとることもできる。この方法は図 1 7 に具体例が例示される。

## 【 0 0 8 2 】

図 1 7 の例の場合、エタロン 7 0 1 の厚みは変化を有しており、この例は後述するように、この目的に供されているが、ここで問題としている反射光の問題の対処も同時に示している。半導体レーザ光源よりの平行光は傾けられたエタロン表面での反射光は、当然半導体レーザ光源に戻り光とはならない。当該反射光がレーザ光源の発光スポットに帰還しない程度のテーパを付せば良い。尚、レーザ光源に対して、平行板状のエタロンを或る傾き角で配置した例はこれまでのもある。しかし、本例では、エタロン 7 0 1 の少なくとも一方の面にテーパを付けて構成するものである。勿論、その両面にテーパを付しても良い。反射光対策として、本例は、前記従来例に比較して極めて光学的な調整が容易であり、実用的なものである。即ち、従来例のごとく、発散光を有するレーザ光源に対して平行板状のエタロンを傾斜角度をもって配置する場合、当該平行板状のエタロンの傾き角と、レーザ光の発散角の 2 つの角度の調整が必要となる。本例では、レーザ光は平行であり、且つエタロンのテーパ角度も固定されているため、装置の実装に

にあった調整箇所は少なく高精度のレーザ・モジュールを得ることができる。

【 0 0 8 3 】

前述の通り、この例には次のような動作が可能である。テーパのついたエタロンでは光の通過場所が異なると選択波長に僅かのずれが発生し、レーザ光源波長がシフトした時、各々の光検知器が受光する光電流のピークがずれる。従って、両者の光電流の差をとれば、波長シフトの誤差信号が得られることになる。テーパエタロンの代わりに、互いに屈折率の異なる2種の平面板をエッジで張り合わせ、それぞれの部分を通過する光の光路差を発生させる手段をとることもできる。こうすれば、レーザ光源波長がシフトした時、各々の光検知器が受光する光電流のピークがずれるので、両者の光電流の差をとれば、波長シフトの誤差信号が同様に得られることになる。

【 0 0 8 4 】

ここで、レーザ光源の波長を温度で変える場合、エタロンの温度が共に変わる場合がある。この場合、エタロンの熱膨張、あるいは、屈折率の温度変化でその光路長、 $nt$ が変動し、エタロンの透過ピーク波長がずれて、所定のITU-T Sグリッドからはずれるという問題が発生する。この問題を解決するために、エタロンを分割し、光路差の温度変動が負になる材料と組み合わせることにより、温度変化があってもエタロンの透過ピークにずれが発生しないという手段をとることができる。あるいは、エタロンの温度特性を半導体メモリに記憶させ、動作温度毎に補正量を付加した値で波長ロックをかける手段をとることも可能である。さらには、エタロンの厚み $t$ を僅かに変化させて作成し、FSRをITU-T Uグリッドとずらせることにより、温度変化による透過ピークのずれを補償する方法を取ることにも可能である。

【 0 0 8 5 】

さらに、本発明による波長ロック光学系はコンパクトに設計可能であるため、レーザ光源からなる光通信モジュールに内蔵することができる。また、波長可変領域を繋いだ複数個のレーザ光源を並列に並べ、合波器で一本のファイバに集める途中に本発明の波長ロック光学系を配置し、単一のレーザ光源よりも広い波長領域で波長ロックをかけた波長可変、かつ波長固定が可能な大容量の波長多重通

信システム応用の光源を用意することができる。

【 0 0 8 6 】

以上のように、本発明による基本要素からなる構成を解決手段に取れば、エタロンの性能を最大限に活用することが可能となる、すなわち、波長選択の分解能、光利用効率、レーザ光源モジュール内部への実装密度向上、機械的な安定性、温度変化に対するロック波長ずれの補正などの観点から、これまで不可能であった技術課題の解決が実現する。

【 0 0 8 7 】

図 9 は本発明の第一の実施の形態を示す主要部の概略図である。図 9 は光源の発振波長の波長ずれを検知する部分を示している。この検出結果に基づいて光源の発振波長を制御する具体的構成の例は図 1 0 に示される。

【 0 0 8 8 】

波長可変のレーザ光源 1 0 0 は、例えば、D F B (Distributed Feed Back) 型やファブリペロ型の半導体レーザである。あるいは、他の例は、D F B 型半導体レーザに電界吸収型の変調器を集積化した光源である。このような波長可変レーザ光源 1 0 0 は、動作温度  $T$  の変化に伴い発振波長  $\lambda$  が変化する。この為、こうした波長可変の半導体レーザ装置では、動作温度を制御することによって、I T U - T S グリッドに対応する波長を選択することができる。

【 0 0 8 9 】

本例は、レーザ光を光路分割し、一方の光をエタロンを透過させ、エタロンを透過させた光とさせない光の両強度を測定することによって、レーザ光源の発振波長のずれを検知しようとするものである。

【 0 0 9 0 】

波長可変レーザ 1 0 0 の情報伝達用の光 1 1 2 は、コリメータ 1 1 1 でコリメートされ光アイソレータ 1 1 2、フォーカスレンズ 1 1 3 を経て光ファイバ 1 1 4 に結合される。通例この光を波長可変レーザ光源 1 0 0 の前方の射出光と称している。

【 0 0 9 1 】

波長ロックのための光学系の構成は次の通りである。すなわち、波長可変レー

ザ光源 1 0 0 の、前記情報伝達用の光 1 1 2 と反対側の光がコリメータ 1 0 2 によって平行光 1 0 3 となされる。この平行光は波面収差にして多くとも波長の 1 0 倍以下の平面度を持つ平行光になっている。通例、前記情報伝達用の光と反対側の光を波長可変レーザ光源 1 0 0 の後方の射出光と称している。こうして得られた平行光 1 0 3 は、光路分割器 1 0 4 で透過光 1 0 5 と反射光 1 1 6 に分割される。光路分割器 1 0 4 は、例えば三角プリズムを張り合わせた形状、あるいは、接着剤を嫌う場合は、薄い平行平板に誘電体薄膜を着けた光路分割器がある。

## 【 0 0 9 2 】

透過光 1 0 5 はさらに、エタロン 1 0 6 に至り、エタロンの内部で多重反射した各々の光が互いに干渉し、前記式 ( 1 ) で表される透過ピークが得られる。この透過ピークは、波長の変化と共に繰り返して現れる。この変化の具体例は図 3 B に例示した。その透過光のピークの間隔は、前述のようにフリースペクトラルレンジ (Free Spectral Range / 略称 F S R) と呼ばれ、前記式 ( 6 ) や式 ( 7 ) で表される。かくして得られる透過光 1 0 7 は、光検知器 1 0 9 で受光されて光電流に変換される。一方、光路分割器 1 0 4 の反射光 1 1 6 は、光検知器 1 1 5 で受光されて光電流に変換される。

## 【 0 0 9 3 】

そして、目的の波長誤差検出信号は、前述のように光出力モニタ用の光検知器 1 1 5 に流れる光電流と、エタロン 1 0 6 の後におかれた波長モニタ用の光検知器 1 0 9 に、流れる光電流の差を誤差信号  $A(\lambda)$  とする。

## 【 0 0 9 4 】

誤差信号  $A(\lambda)$  は、式

$$A(\lambda) = P_t - P_m \quad \cdots \cdots (9)$$

と表わすことが出来る。

## 【 0 0 9 5 】

尚、誤差信号としては、光量で正規化した信号、

$$A(\lambda) = (P_t - P_m) / (P_t + P_m) \quad \cdots \cdots (10)$$

を用いることも可能である。

## 【 0 0 9 6 】

ここで、エタロンを透過してくる光の強度が式 (1) のごとくに表わすことが出来ることは前述した通りである。

## 【 0 0 9 7 】

前記の式 (9) を図示したものが図 6 である。図 6 は横軸が波長差 (nm)、縦軸は誤差信号 (任意単位) を表わす。各曲線はエタロンの反射率 R をパラメータとしている。即ち、これらは具体的には、エタロンの反射率が 27%、35%、50% 及び 65% における例である。しかし、いずれの例においても、特性は波長差に対して誤差信号の周期的なピークを有する。

## 【 0 0 9 8 】

ここで、前述のようにエタロンの透過ピークの半値幅、 $\varepsilon$  と FSR の比はフィネス  $\Phi$  と呼ばれ、エタロンの反射率 R との間に

$$F = 4R / (1 - R)^2 \quad \dots \dots (2)$$

$$\Phi = (\pi \sqrt{F}) / 2 \quad \dots \dots (5)$$

$$\Phi = FSR / \varepsilon \quad \dots \dots (8)$$

の関係がある。従って、エタロンの鋭い分光特性、 $\varepsilon$  を得るには、エタロンの両面の反射率が高く、また、両面での反射を繰り返し多数回起こさねばならない。そのためにはエタロンへの入射光の角度が垂直近傍となる必要がある。入射角が垂直でなくなると反射光が反射する毎にシフトして干渉が波面の一部でしか起こらないため、実効的なフィネスが低下する。この角度は実用上、約 5 度程度以内の角度を用いる。

## 【 0 0 9 9 】

尚、エタロンの膜反射率は、エタロンの実装精度と反射率の変化の割合との関係を考慮して設定される。特性例の図よりわかるように、膜反射率が大きくなると、波長変化に対する差信号は大きくなる。

## 【 0 1 0 0 】

さらに、エタロンからの反射光を取り出して光検知器に導く必要があるため光路分割器 104 が基本的に必要であり、本発明の重要なポイントである。

## 【 0 1 0 1 】

このようにして得られた高い感度を持つ波長誤差信号による波長制御は次のようにして実施される。

## 【 0 1 0 2 】

図 1 0 は光源の発振波長を制御する具体的構成の例である。尚、図 1 0 では前述した光源の発振波長のずれを検出する各種部材は省略され、エタロン 1 0 6 と 2 つの光検知器 1 0 9、1 1 5 のみが簡潔に示されている。更に、図 1 0 では情報伝達側の構成については省略されている。尚、L はコリメータを例示する。本願発明のレーザ光波長制御モジュールの具体的構成は、図 9 および図 1 0 の構成を合わせて構成され则认为ればよい。尚、半導体レーザの出力を一定に保つための A P C (Automatic Power Control) は、通例の方法による。即ち、その方法は、光検知器 1 1 5 の出力を所定の設定値と比較し、半導体レーザ 1 0 0 の駆動電流制御回路 4 0 4 にフィードバックするものである。

## 【 0 1 0 3 】

レーザ光源 1 0 0 から得られる平行平面波を光路分割器 1 0 4 に導き、反射光を光検知器 1 1 5 で受光する。1 0 4 の透過光はエタロン 1 0 6 を多重反射して通過し、波長の変化に対して式 (1) で与えられる光量をもって光検知器 1 0 9 に至る。波長誤差信号は光検知器 1 1 5 の出力と光検知器 1 0 9 の出力の差であり、前述の式 (9)、あるいは、式 (1 0) で与えられる。そして、誤差信号値  $A(\lambda)$  がゼロ、あるいは、一定の値になるように半導体レーザ 1 0 0 の波長を制御する。この波長制御の具体的方法は、誤差信号値に基づき、前記温度制御素子 4 0 1 の駆動回路 4 0 2 へ、前述した目的に従って所定信号をフィードバックするものである。尚、反射光 1 0 4 を光検知器 1 1 5 で検知された信号をレーザ光源の駆動手段 4 0 4 に帰還し、通例行われているように、レーザの発光強度を制御する。

## 【 0 1 0 4 】

誤差信号が零あるいは所定の値でなく、正の値場合、温度制御素子の温度を上昇させる。この温度上昇に伴って、レーザ装置の発振波長も上昇する。この温度とレーザの発振波長の関係の例は図 4 に示した通りである。レーザの発振波長の

上昇に伴って、前記の誤差信号は減少する。そして、この誤差信号が零あるいは所定値に達した時点の波長に固定するのである。誤差信号が負の値であった場合は温度制御素子の温度を下降させ、前述の温度上昇と逆の変化によって、誤差信号が零あるいは所定値に達した時点の波長に固定するのである。こうした電気信号処理系は通例の方法で十分である。本発明の別な形態としてエタロン 1 0 6 の反射光と透過光の差を取って、これを誤差信号とすることも可能である。

#### 【 0 1 0 5 】

図 1 1 にこうした例の構成を示す。ビームスプリッタ 1 0 4 がエタロン 1 0 6 よりの反射光 1 0 8 を光検出器 1 1 0 で検出できるように配置されている。その他は図 9 の例と基本的に同様の構成であるので、その詳細説明は省略する。図 1 1 においては、図 9 と同じ部材は同一の符号が付されている。

#### 【 0 1 0 6 】

エタロン 1 0 6 からの反射光 1 0 8 は、図 1 2 に示すように透過光 1 0 7 と相補的となり、透過光の増減に伴って減増する。光検知器 1 0 9 から得られる透過光電流と光検知器 1 1 0 から得られる反射光に基づく電流の差をとれば、波長ずれに対応する誤差信号が得られる。

#### 【 0 1 0 7 】

図 1 2 はエタロンの反射光と位相差の関係を示す図である。横軸は位相差、縦軸は反射光の強度（任意単位）である。位相差は図 3（b）で説明したものと同様である。パラメータはエタロンの反射膜の反射率である。

#### 【 0 1 0 8 】

図 1 3 はエタロンの反射率が 3 5 % の場合の透過光と反射光との位相差との関係を示した図である。図 1 3 では透過光信号を P D 1、反射光信号を P D 2 として表わしている。ロックされるべき波長が図 1 3 中に矢印で示している。前記透過光信号を P D 1 と反射光信号を P D 2 との差を取ることで、この最大値の波長が前記ロック波長とのずれがより明瞭に確認される。この例に見られるように、レーザ光源の発振波長と波長選択手段が有する前記光の透過領域とを対応させる際、この透過領域の最も透過率の高い波長領域を避けた所望波長に対応する発振波長に相当させている。この例に見られるように、透過特性あるいは反射特性の

ピークの波長より、やや特性曲線の勾配が大きい領域にロック波長が設定されている。こうした領域にロック波長を設定することで、より波長制御の精度は高くなる。

#### 【 0 1 0 9 】

本実施例では、この波長ずれに対応する誤差信号の値が一定に保たれるようにレーザ光源 1 0 0 の動作温度にフィードバックし、制御ループを閉じる。この方法を取れば、第一の形態に比べて波長変動に対する誤差信号は 2 倍になる。

また、前例同様、光通信モジュールを使った光ファイバ伝送方式では、光通信モジュールのファイバ出力を一定に保つ必要がある。このため、レーザ光源 1 0 1 からの光出力をモニターし、駆動電源にフィードバックしなければならない。この方法の一つは、例えば、図 1 1 に示すように、光路分割器 1 0 4 の反射光を光検知器 1 1 5 に導いて得られる光電流を出力モニタとするものである。このモニターされた光電流信号に応じて、あらかじめ設定された値を参酌して、レーザ光源の光出力が制御される。この方法は通例の半導体レーザ装置の光出力の制御方法と同様である。更に他の光出力の制御方法方法として、光検知器 1 0 9 と光検知器 1 1 0 のそれぞれの光電流、あるいは、それらの光電流の和を出力モニタとすることもできる。これらの光電流は本来、レーザ光源より光を単に分割したものであるもので、本方法を用い得ることは言うまでもない。

#### 【 0 1 1 0 】

図 1 4 は別な制御系を示す図である。図 1 4 では図 1 0 と同一部材は同一符号を付して、その詳細説明は省略する。本例では図 1 1 に示した波長制御の為の光学系、例えば、レーザ光源 1 0 1 に対して、光路分割手段 1 0 4 , エタロン 1 0 6 、光検知器 1 0 9 、及び 1 1 0 が配置される。エタロン 1 0 6 の透過光は光検知器 1 0 9 、反射光は光検知器 1 1 0 で検知され、誤差信号 3 0 2 を得る。この誤差信号はあらかじめ設定された設定値に基づき、レーザ光源 1 0 1 の温度制御手段 4 0 1 の駆動回路 4 0 2 に帰還される。この誤差信号に基づくレーザ光源の発振波長の制御、固定の方法は先に説明したところである。

#### 【 0 1 1 1 】

図 1 5 は本願発明の波長ロック用光学系の別の配置例を示すものである。ここ

では波長ロック用光学系のみを示す。この例では、図 5 で示した配置と異なり、ビームスプリッタ 1 0 4 の透過光を光出力モニタ 1 1 5 に使用する。また、ビームスプリッタ 1 0 4 の反射光をエタロン 1 0 6 に導き、その透過光を光検知器 1 0 9 で受ける。そして、光検知器 1 0 9 に流れる光電流と光検知器 1 1 5 の差を波長誤差信号とする。あるいは、エタロン 1 0 6 の反射光をビームスプリッタ 1 0 4 を通過して光検知器 1 1 0 で受光し、光検知器 1 0 9 と 1 1 0 に流れる光電流の差を波長誤差信号とする。電気的な制御信号処理の回路ループは図 1 0 や図 1 4 で説明したものと変わらない。図で 1 0 2 および 1 1 1 はコリメータである。

#### 【 0 1 1 2 】

図 1 6 は本発明の波長ロック用光学系の他の配置例を示すものである。ここでは波長ロック用光学系のみを示す。レーザ光源 1 0 1 の前方のコリメータ、例えばコリメートレンズ 1 1 1 によりコリメートされた平行光の一部をビームスプリッタ 6 0 1 で反射させ、エタロン 1 0 6 に導いてその透過光を光検知器 1 0 9 で受光する。エタロン 1 0 6 の反射光はビームスプリッタ 6 0 1 を通過して光検知器 1 1 0 で受光する。光出力モニタはレーザ光源 1 0 1 の後方に置かれた光検知器 1 1 5 を使うことができる。電気的な制御信号処理ループは図 1 0 、あるいは図 1 4 で説明したものと同様のものを用いることが出来る。

#### 【 0 1 1 3 】

図 1 7 は本発明の波長ロック用光学系の他の実施例を示すものである。すなわち、レーザ光源 1 0 1 の後方の射出光をコリメートレンズを用いてコリメートして平行平面波とする。その光路中にテーパ付きのエタロン 7 0 1 を置き、その直後に近接して置かれた 2 連の光検知器 7 0 2 、 7 0 3 を設置する。ここで、光検知器 7 0 2 に至る光と、光検知器 7 0 3 に至る光とでエタロン 7 0 1 の通過場所が異なる。また、エタロン 7 0 1 にはテーパが付けられているため、各々の透過光の波長変化に対するピーク位置にずれが生じる。そこで、光検知器 7 0 2 と 7 0 3 の光電流ととの差をとれば、図 1 8 に示したような波長誤差信号が得られる。即ち、図 1 8 は位相差と透過光の強度の関係を示すものである。横軸は位相差、縦軸は透過光の強度である。系列 1 と表示した曲線はエタロン 7 0 1 の膜厚

の薄い領域を透過して、光検知器 7 0 2 で検知された出力 P D 1、系列 2 と表示した曲線はエタロン 7 0 1 の膜厚の厚い領域を透過して、光検知器 7 0 3 で検知された出力 P D 2 である。光出力モニタは、光検知器 7 0 2 と 7 0 3 の光電流 P D 1 と P D 2 の和か、あるいは、レーザ光源 1 0 1 の前方の光を光検知器 1 1 5 で受けたものを使うことができる。電気的な制御信号処理ループは図 1 4 で説明したものとも同様のものを用いることができる。

## 【 0 1 1 4 】

図 1 9 は本発明の他の実施例を説明するものである。この例ではエタロンは透過特性の異なる 9 0 1 と 9 0 2 の 2 つの部分からなり、光検知器 7 0 2 と光検知器 7 0 3 に至る光がエタロンを通過する場所の光路長が僅かに異なるものである。光路長の差は、エタロンの屈折率、あるいは、機械的長さを僅かにかえることで実現できる。このようなエタロンを使った場合の波長ロックの動作原理は基本的に、図 1 4 で説明したものと同様である。尚、図中 6 0 1 は光路分割手段、1 1 5 は光検知器である。この系によって、レーザの光出力の制御を行う。

## 【 0 1 1 5 】

前述のように、半導体レーザの発振波長が可変であって、波長多重光通信のチャンネル、いわゆる I T U - T S グリッドの間隔 1 0 0 G H z、5 0 G H z、2 5 G H z などに合わせて発振できることが望まれている。

## 【 0 1 1 6 】

この期待に答えるために、本願発明ではエタロンの F S R を、波長多重光通信のチャンネル、いわゆる I T U - T S グリッドの間隔 1 0 0 G H z、5 0 G H z、2 5 G H z などに一致させる。つまり、図 6 で示したエタロンの透過ピークの間隔を I T U - T S グリッドに合わせる。そして、レーザ光源の波長をグリッド上の任意の波長にロックさせるものである。例えば、屈折率  $n$ 、が約 1.4 の熔融石英を材料とするソリッドエタロンを用いる場合の厚さ  $t$  は、前述の式 (7) に従って算出することができる。レーザ光源の波長の変化は、例えば、ペルチエ素子のような温度可変素子を手段にしてレーザの温度を変えて行うことが实际的である。レーザ発振の発振波長と温度の関係の例は前述の図 4 に示すごときものである。

## 【 0 1 1 7 】

次に、レーザ装置の発振波長を可変となす別な例を例示する。図 2 0 はこうしたレーザ装置の例の平面構成の概略を示す。この例は、波長可変のレーザ光源 1 0 0 として、DFBレーザ部 1 5 0 の近傍に集積した薄膜ヒータ 1 5 1 により温度を変え、屈折率、バンドギャップの温度変化によりレーザの発振波長を可変にするものである。このような波長可変光源と、本発明の波長ロック方式とを組み合わせると次の効果が期待できる。すなわち、ITU-TSグリッドの任意の波長で発振するようにレーザ光源の温度を変化させた時、その温度変化は局所的にレーザの活性層近傍のみ変化し、そこから十分はなれた場所に置いたエタロンの温度はほとんど変わらない。これは、エタロンに温度特性があつて、透過ピークにずれがある場合、動作温度が異なるとITU-TSグリッドからのずれが生じる。しかし、本例のように局所的に半導体レーザのみ温度を変化させる構造とすれば、エタロンの温度特性を懸念する必要がなくなる。

波長可変半導体レーザ装置について、補足説明を行えば次の通りである。前述の通り、図 2 0 は波長可変半導体レーザ装置の主要構成部材の平面配置図である。半導体基体面 1 0 1 に、半導体レーザの発光部 1 1 5 0 が配置され、これに近接して温度可変手段 1 5 1 が配される。前記半導体レーザ発光部に対向して光変調器 1 5 3 が配置される。この光変調器 1 5 3 は電極 1 5 4 によって制御される。一般にこの変調器側の光が情報の通信に用いられる。

## 【 0 1 1 8 】

こうした波長可変の半導体レーザ装置の基本構成は、波長可変光源または集積型多波長光源と、光変調器と、を組み合わせるものである。これら両者の光学的な結合形態は各々を別体で構成する形態（ハイブリッド集積）、その各々をモノリシックに集積する形態（モノリシック集積）のいずれをも用いることが出来る。こうした装置では、波長可変光源または集積型多波長光源の出力光の一部は光変調器に導かれ、光変調器によるオン・オフによって光信号が生成される。

## 【 0 1 1 9 】

本願発明のレーザ・モジュールは、こうしたレーザの発振波長を固定化せんとするものである。しかし、実用上、光変調器を有する半導体レーザ装置でのこ

した波長の固定化に際して、波長の微細な変化に対して光変調器の特性も調整する必要がある。

#### 【 0 1 2 0 】

こうした問題の対策に、光変調器の近傍に、光変調器を局所的に温度制御する手段を設けることが考慮される。この温度制御手段により、光変調器の能動導波路層の温度を所望の値に制御する。こうした例の基本形態は、光源の波長管理、光の高速変調に対応する光変調手段の提供、並びに光変調器部のチャージング特性の制御などを可能とする。

#### 【 0 1 2 1 】

第 1 の具体的な動作例は、例えば、光変調器に導入される光信号の波長の変動に応じて光変調器のバンドギャップ波長を同じ程度変動させるものである。より具体的な実施の形態の例を例示すれば、この温度制御手段は、変調器に入射する光の波長を検知する手段、検知された波長に基づき当該光変調器の動作温度を調整する手段を少なくとも有する。尚、実用的には、更に、検知された波長に基づき当該半導体レーザ素子部の動作電流を調整する手段を有する。前記光変調器の動作温度を調整する手段は、当該光変調器に導入される光信号の波長の変動に応じて光変調器のバンドギャップ波長を同じ程度変動させる。例えば、光変調器に導入される光信号が長波長化した場合、光変調器のバンドギャップ波長を同じ程度長波長化する。前記半導体レーザ素子部の動作電流の調整は、波長変動に基づく発振電力の微細な変動を調整する。こうして、光源の波長管理に合致した光の高速変調を確保することが出来る。

#### 【 0 1 2 2 】

尚、こうした波長可変な半導体レーザ装置を有するレーザ・モジュールの例のより具体的の実施の形態の例は後述される。

#### 【 0 1 2 3 】

次に、温度係数を零となしたエタロンの構成例を例示する。図 2 1 にこうしたエタロンの断面図を例示する。この例は、屈折率  $n$  と長さ  $t$  の積の温度係数が正負逆の特性を持つ 2 つ以上の材料を張り合わせ、実効的に温度係数がゼロとなるようにエタロンを構成する方法である。すなわち、ガラス基板 1 6 1、1 6 2

の屈折率を  $n_1$ 、ガラス基板 1 6 1 と 1 6 2 の長さの和を  $t_1$  とし、別の材料の屈折率を  $n_2$ 、長さを  $t_2$  とした時、温度  $T$  による微分係数が零、即ち

$$d(n_1 t_1 + n_2 t_2) / dT = 0 \cdots (11)$$

となるようにエタロンの材料を選ぶ。例えば、シリコンゲル 1 6 3 は、光路長の温度係数が負であるため、通常ガラスと組み合わせれば式 (11) を実現することができる。

#### 【0124】

図 4 に説明した方法でレーザ波長を可変にした場合、レーザとエタロンが同一のペルチエ素子上にあるためレーザの温度と共にエタロンの温度も変化する。一方、式 (1) (2) (3) で示したエタロンの透過ピークは、エタロンの機械的な長さ  $t$  と屈折率  $n$  の積、すなわち光路長で決まる。しかし、屈折率  $n$  は温度に依存し、機械長  $t$  は熱膨張で変化する。このため、透過ピーク波長が温度係数をもつことになり、FSR をグリッド間隔に一致させてもエタロンを異なる温度で動作させると ITU-TS グリッド 1 6 0 とのずれが生じる。本実施例はこの問題を解決する手段を提供する。

#### 【0125】

図 2 2 は上記ずれの問題を解決する他の手段を説明する為の図である。横軸は位相差（相対波長差）、縦軸は透過光（任意単位）の強度を示している。曲線の系列 1 及び系列 2 は図 1 8 に例示した趣旨と同様である。

#### 【0126】

本例の方法は次の通りである。すなわち、式 (7) に示したように、通常はファブリペローエタロンのフリースペクトラルレンジが、波長多重光通信のチャンネルグリッド間隔と一致するようにエタロンの厚みを決める。しかし、本例ではエタロンの厚みを厚くし、図 2 2 に示す位相差のレンジ 8 9 0 のようにあらかじめフリースペクトラルレンジを狭くしておく。今、レーザの温度制御素子の温度を上げて隣のグリッド波長で動作させようとした時、エタロンの熱特性のために透過ピークが長波長側にシフトする。このシフト量 8 9 1 が、狭くした FSR 8 9 0 とグリッド間隔 8 9 2 の差と等しくなるようにエタロンの厚みを厚く作成するのである。かくしてエタロンの温度特性によるずれを補償することができる。尚

、系列 1 および系列 2 の信号は、図 1 8 をもって示した如き信号の例である。

【 0 1 2 7 】

図 2 3 はエタロンの温度係数に基づく誤差の補正に関する装置の構成方法である。すなわち、エタロンの温度係数が無視できず、レーザの発振波長と I T U - T S グリッドとの間にずれが生じる場合である。

【 0 1 2 8 】

図 2 3 は図 1 4 と基本構成は同様である。従って、図 1 4 と同様の部材は同一の符号を付されている。半導体レーザ装置 1 0 0 は通例、ペルチエ素子 4 0 1 によって温度制御されている。即ち、レーザ光源 1 0 0 の動作温度を補正して駆動回路 4 0 2 によりペルチエ素子 4 0 1 を制御する。こうして半導体レーザ装置の発振波長が制御されているのである。

【 0 1 2 9 】

本例ではこの半導体レーザ装置 1 0 0 の近傍に温度検知手段 4 0 3、例えばサーミスタが設けられる。更に、当該光伝送装置に情報記憶手段 1 7 0、例えば半導体記憶装置が配置される。そして、この情報記憶手段 1 7 0 にはあらかじめ測定してあるエタロンの透過ピーク波長の温度特性とレーザ光源の波長と温度の関係を記憶させておく。そして、本願発明のこれまでの例と同様に 2 つの光検知手段 1 0 9、1 1 0 の出力に基づく誤差信号 3 0 2 を得る。そして、本例に見られるように、記憶されているエタロンの透過ピーク波長の温度特性とレーザ光源の波長と温度の関係を参酌して、この誤差信号に対して補正すべき値を得る。そして、この結果に基づき、所望の発振波長に合った設定値 1 7 1 の帰還信号を定めて、波長制御系の制御ループを閉じるものである。こうしてエタロンの温度特性に基づく透過特性の変動を補正し、本来のエタロンの透過特性に基づく発振波長の制御の為の信号を得ることが出来る。本例の工夫に係る以外のその他の部材は図 1 4 に示した例と同様である。又、誤差信号あるいは帰還信号に基づくレーザ装置の発振波長を調整し、固定する方法は先に述べた通りである。

【 0 1 3 0 】

次に、本願のレーザ・モジュールの実装方法の一例を図 2 4 及び図 2 5 に例示する。図 2 4 は基板にエタロン及び各光学系の部材を搭載したサブアッセンブリ

の平面図を示す。図 2 5 はこのサブアッセンブリを含め波長ロック光学系の所望部材を 1 4 ピンのバタフライ型の通信モジュールパッケージ 8 5 0 に装填した状態の平面図である。図 2 5 に見られるように、波長可変のレーザ光源 1 0 0 の一方の端面に対向して前記サブアッセンブリ 8 5 1 が、他方の端面に光伝送路、例えばその代表例としての光ファイバー 1 1 4 が配置される。この例では、レーザ光源 1 0 0 とサブアッセンブリ 8 5 1 との間にコリメータ素子 1 0 2、例えばコリメータレンズが、レーザ光源 1 0 0 と光ファイバー 1 1 4 との間にコリメータ素子 1 1 1、例えばコリメータレンズ、光アイソレータ 1 1 2、集光手段 1 1 3、例えば集光レンズが配される。

#### 【 0 1 3 1 】

本例では、図 2 4 にみられるように、エタロン 1 0 6、ビームスプリッタ 1 0 4、光検知器 1 0 9、1 1 0、1 1 5 は基板 8 5 1 に搭載される。そして、あらかじめ別の場所で用意した所望の波長で発振している平行光学系の光路中に入れてエタロンへの光線の入射角を調整して固定し、サブアセンブリとする。しかるのち、サブアセンブリをパッケージ 8 5 0 内に用意した所望の波長の平行光学系の光路中に装填するものである。このエタロンへの入射角はエタロンの一般的説明において説明した入射角に相当する。この方法は本発明が平行平面波を使うことから出る実装上の利点である。エタロン以外の部材をモジュールパッケージに装着しておき、この状態に後からエタロンを装着する方法も取ることが出来る。本例ではエタロンを含む光伝送装置を一つのパッケージに内蔵することが容易であるという実装上の利点がある。

#### 【 0 1 3 2 】

即ち、このような、波長ロッカ部のサブアセンブリ化は、エタロンに入射させる発散光の角度を調整するために、半導体レーザと集光レンズの間隔を微調する必要がない利点がある。しかも、2 連の光検知器からの出力をみながら斜めエタロンの角度を微調整する必要もない。本願発明はこうした実装上の利点が極めて大きい。

#### 【 0 1 3 3 】

図 2 6 は本発明の他の実施例である。この例は、発光部を複数個有する波長可

変半導体レーザ装置を用いた例である。

【 0 1 3 4 】

すなわち、図 2 0 で例示したとき波長可変レーザ光源 9 5 1 を複数個並列し、射出光を各々導波路 9 5 2 に結合する。波長可変レーザ光源 9 5 1 は、波長を可変にするためのヒータ 9 5 0 を集積化して設けられている。結合された光は波長合分波器 9 5 3 で集められ、半導体光増幅器 9 5 4 で増幅される。しかるのち、電界吸収型変調器 9 5 5 で変調され、導波路基板の端から射出される。射出光は、図 1 1 で示したようにコリメートレンズ 9 5 6 でコリメートされ、ビームスプリッタ 6 0 1 で反射されてエタロン 1 0 6 に至り、前述の波長ロック光学系が構成される。ビームスプリッタ 6 0 1 を透過した光は、アイソレータ 1 1 2、集光レンズ 1 1 3、を経て光ファイバ 1 1 4 に至り情報伝送される。この配置で前述のようにエタロン 1 0 6 の F S R を、I T U - T S グリッドに合わあせておき、レーザ光源 9 5 1 の各々のレーザの波長を順順に変えればファイバ 1 1 4 の出力波長は、一個のレーザ光源の場合よりも広い範囲で可変でしかも波長固定が可能となる。このような波長可変レーザ光源は、大容量の波長多重光通信システム用の光源としては勿論、波長チャンネルの交換スイッチ、すなわちルータ用の光源としても有用である。

【 0 1 3 5 】

こうした構成のレーザ光源の発振波長のロック方法の光学系等については、これまで述べてきた各種の方法を適用できることは言うまでもない。

【 0 1 3 6 】

次に、本例の半導体レーザ装置の部分について詳細に説明する。図 2 7 は前記半導体光素子部 1 0 6 と類似する波長可変半導体レーザ装置の例示す平面図である。即ち、本例の波長可変半導体レーザ装置は、レーザ発光部 1 1 2 1 に温度制御手段 1 1 2 2 が設けられているが、更に、光変調器 1 1 2 5 にも、温度制御手段 1 1 2 6 を有するものである。こうした光変調器への温度制御手段の設置の意義については、前述したところである。図 2 8 はその光の進行方向に沿った断面図である。尚、この図は光導波路に沿って示され、図 2 7 の装置の正確な断面図ではない。

## 【 0 1 3 7 】

半導体光素子部 1 1 2 1 は  $\text{InP}/\text{InGaAsP}$  材料または  $\text{InP}/\text{InGaAlAs}$  材料またはその両者を用いて形成される。半導体光素子部 1 1 2 1 を形成する為の基板 1 1 2 0 には、 $\text{InP}$  を用いた。本例の半導体光素子部には、レーザアレイ部 1 1 2 1 が一方の側面側に配置される。本例のレーザアレイ部 1 2 1 は多波長分布帰還型レーザアレイである。尚、レーザ装置としては、分布帰還型 (DFB) のみでなく、DBR (D i f r c t i o n B r a g g R e f e r c t i o n) 型レーザをも用い得る。DBR 型においてもその波長制御の因子の部材に本願発明に係わる信号を帰還すれば良い。図示されるように、本例では多波長分布帰還形レーザアレイ部 1 1 2 1 は 1 5 3 0 nm から 1 5 6 2 nm 波長帯近傍に発光ピークを有する複数のレーザ素子部 (1 1 3 1、1 1 3 2、1 1 3 3、1 1 3 4) を有している。図 2 7 には外部よりの変調信号 1 1 4 5 がスイッチ 1 1 4 4 により選択され、更に信号系 1 1 4 0 ~ 1 1 4 3 を経て、各半導体レーザ素子 1 1 3 1 ~ 1 1 3 4 を駆動する形態が示されている。ヒータ部 1 1 2 2 の各々への信号系も類似の形態で入力される。

## 【 0 1 3 8 】

レーザアレイ部 1 1 2 1 の各波長の光は、光合波器 1 1 2 3 で合波される。そして、光合波器 1 1 2 3 より光増幅器 1 1 2 4、を経て光変調器 1 1 2 5 に光導波路で光学的につながれている。本例の光変調器 1 1 2 5 は周知の電界吸収型半導体光変調器である。光は、光増幅器 1 1 2 4 によって光増幅された後、光変調器 1 1 2 5 に入力される。また、素子の光変調器側端面には低反射膜 1 1 2 7 が、レーザ側端面には高反射膜 1 1 2 8 が施されている。光はこの低反射膜 1 1 2 7 より当該光半導体装置の外部に射出される。本例では、レーザアレイ部 1 1 2 1 の各レーザ素子部および光変調器 1 1 2 5 に近接して温度制御手段 1 1 2 2、1 1 2 6 (尚、この符号は手段の総称である) 設けられている。図 2 7 では、各レーザ部に対する個々の温度制御手段 1 1 2 2 を各々 1 1 4 5、1 1 4 6、1 1 4 7、1 1 4 8 と個別に表示した。他方、温度制御手段 1 1 2 6 は光変調器 1 1 2 5 の動作温度制御用ヒータである。

## 【 0 1 3 9 】

図 2 8 は本例の断面図である。半導体基板 1 1 2 0 上に、化合物半導体材料の  $\text{InGaAsP}$  あるいは  $\text{InGaAlAs}$  を用いた光導波路 1 1 5 0 が形成される。この例では、DFB 型レーザの為の回折格子 1 1 5 1 は半導体基板  $\text{InP}$  1 1 2 0 の表面に予め形成された。レーザ部 1 1 2 1、導波路部 1 1 2 9、合波器部 1 1 2 3、増幅器部 1 1 2 4、光変調器部 1 1 2 5 等は通例の形態および製造方法を用いて良い。光導波路 1 1 5 1、1 1 5 2、1 1 5 3 は各々合波器部 1 1 2 3、増幅器部 1 1 2 4、光変調器部 1 1 2 5 に対応する。前記これらの諸導波路上に光導波のクラッド層 1 1 6 0 となる  $\text{InP}$  層が形成される。尚、光の射出部側は窓 (Window) 構造 1 5 4 の  $\text{InP}$  層を設け光の吸収を出来るだけ低減している。

## 【 0 1 4 0 】

この層上に半導体レーザ部および光変調器部の電極 1 1 2 1、更に、絶縁層 1 1 4 9 の 2 酸化シリコン膜を介して  $\text{Pt}$  あるいは  $\text{Ti}$  等のヒータ部 1 1 2 2 および 1 1 2 6 が形成される。尚、半導体基板の裏面には  $n$  側電極 1 1 3 5 が形成される。符号 1 1 5 5 は装置の表面のパッシベーション膜である。こうして準備された半導体光装置は通例の通り、ヒートシンク 1 1 5 0、そしてチップキャリア 1 1 5 2 に搭載され、更にこれらが温度調節器 1 1 0 2 に接着層 1 1 5 3 を介して搭載される。この温度調節器 1 1 0 2 は通例のペルチエ素子である。

## 【 0 1 4 1 】

レーザ発振波長制御用のヒータ部 1 1 2 2 (即ち、個別ヒータは 1 1 3 1 ~ 1 1 3 4 と示される) の各々に所望の電流を通電することによって、各レーザ素子部の温度を制御することが出来る。この結果、動作させるレーザチャンネルの選択と波長可変機能とを併用することにより 1 5 3 0 nm から 1 5 6 2 nm までの、いわゆる連続波長掃引が可能である。即ち、半導体レーザアレー部の所望レーザ部を選択し、且つそのレーザ部の微小な波長のずれを、例えば、前記 4 nm 間隔にて発振波長を制御することが出来る。従って、前述のように波長多重光通信システムで定められている波長設定を微細に調節することが出来る。本光素子を動作させる際、入力光の波長  $\lambda_p$  に応じ、変調器動作温度制御用ヒータ 1 1 2

6に通電を行う。こうして発振波長に応じた光変調を行い得る。

#### 【0142】

図29より図30は本例における、半導体レーザ素子部の発光波長に基づいて、当該半導体レーザ素子部の駆動電流値およびヒータの駆動電流値の制御を行う制御系、および光変調器のヒータの駆動電流値の制御を行う制御系を示す図である。図29はその波長検知部が、本例の光半導体装置とモノリシックに集積化された例、図30は波長検知部と本例の光半導体装置とがハイブリッドに集積化された例を示す。図29に見られるように、半導体レーザ素子部の波長を検知する手段1050が併設される。この例のレーザ波長検知手段1050はアレー導波路回折格子1021を用いて構成される。このアレー導波路回折格子1021によって、各波長の光は分離、検知され、光導波路1022を経て、信号処理部1023に導かれる。この論理回路1024の信号は、半導体レーザ素子の駆動電流の制御系1025、あるいは半導体レーザ素子の温度制御の制御系1026を経て、各々半導体レーザ素子の電極1131、あるいは半導体レーザ素子に設けられたヒータ1145に所定の信号が入力される。

#### 【0143】

又、光変調器のヒータの制御も同様に、当該半導体レーザ素子部の波長の変動を検知した信号は、光変調器のヒータの制御系1027を経て、所望信号が光変調器のヒータ1126に入力される。尚、図29及び図30において、同一部材は同一符号を用いた。又、符号1125は光変調器の電極である。図30は、本例に係わる光半導体装置1120とレーザ波長検知手段1050とがハイブリッドに集積化された例である。

#### 【0144】

本例の半導体レーザ装置における光変調器は、温度制御手段によって温度制御されているが、温度変化に伴うレーザの発振波長の変化に応じて、光変調器をも温度制御することが出来る。こうして、光変調器の光学特性を当該レーザ発振部の温度変化に対応して変化させ、温度変化に応ずる特性ずれを補正し、所望の光学特性を得ることが出来る。

## 【 0 1 4 5 】

次に、本願発明に係わるレーザ・モジュールを用いた光システムの具体的例として、波長多重光伝送装置を例示する。その波長帯域は $1.55\mu\text{m}$ 帯である。図31は光通信システムの要部の構成を示す図である。本例は固定波長を有する光源群をもって光送信光源を構成した例である。図31に例示される光通信システムは、波長多重光送信部801、光前段増幅器802、光ファイバ803、インライン増幅器804、光後段増幅器805、光受信部806を有して構成される。固定波長を有する光源807としては、これまで説明してきた本願発明に係る波長可変の諸半導体レーザ装置を用いることが出来る。固定波長の光源は、より具体的には複数の分布帰還型の半導体レーザ素子が用いられる。各チャンネルの発振波長は $1532.29\text{nm}$ から $1597.19\text{nm}$ まで $50\text{GHz}$ 間隔、全160チャンネルである。各チャンネル光源からの信号光は、通例のアレイ導波路を用いた回折格子を用いた合波器809を用いて1本のファイバー810に合波される。本願に係わる半導体レーザ素子部に対する局所的な温度制御手段によって、前述の発振波長に調整されるのである。

## 【 0 1 4 6 】

本例は、従来の構成に比べ、装置の小型化、経済化を改善可能である。この簡易な構成により、容易な手法で各チャンネルの光波信号波長を所望の値に設定、安定化することができる。従って、従来システムに比較してチャンネル波長数の増大を伴いながら、高信頼な波長多重伝送システムを低コストで実現できる。

## 【 0 1 4 7 】

以上、詳細に説明したように、本願発明による基本要素からなる諸構成を用いることによって、エタロンの性能を最大限に活用することが可能となる。即ち、本願発明によれば、波長選択の分解能、光利用効率、レーザ光源モジュール内部への実装密度向上、機械的な安定性、温度変化に対するロック波長ずれの補正などの観点から、これまで不可能であった技術課題の解決が実現する。しかも、本発明の波長制御方式を活用すれば、半導体レーザの発振波長をロックできるだけでなく任意のITU-TSグリッドへの波長移動と波長ロックが可能となり、波長多重光通信装置や、波長チャンネルのルータ装置に不可欠のレーザ光源を提供

するものである。

【 0 1 4 8 】

【発明の効果】

本願発明は、レーザ光源の発振波長を指定値に高精度にロック可能な半導体レーザ光源を提供する事が出来る。この光学系は波長ロッカーモジュールとして別個に動作させることも当然可能であるが、より小型であり、当該レーザ光源を有する光通信モジュールへの内蔵を可能とする。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

図 1 はこれまでに知られている波長制御光源の構成図である。

【図 2】

図 2 はエタロンを用いた波長分割多重光伝送システム用の波長監視制御装置の例を示す図である。

【図 3 A】

図 3 A はエタロンでの光の状態を説明する断面図である。

【図 3 B】

図 3 B はエタロンでの位相差と透過光の関係の例を示す図である。

【図 4】

図 4 は半導体レーザ装置での温度と波振波長との関係の例を示す図である。

【図 5】

図 5 は本願発明による波長制御光源の例の構成図である。

【図 6】

図 6 は本願発明のモジュールの例における波長差と誤差信号との関係の例を示す図である。

【図 7】

図 7 は半導体レーザ装置における外部共振器の状態の例を示す図である。

【図 8 A】

図 8 A は半導体レーザ装置、コリメータレンズ、及び光検知器の関係の例を示す図である。

【図 8 B】

図 8 B は半導体レーザ装置、コリメータレンズ、及び光検知器の關係の別な例を示す図である。

【図 9】

図 9 は本願發明による波長ロック光学系の配置例を示す図である。

【図 1 0】

図 1 0 は本願發明による波長制御光源の別な例の構成図である。

【図 1 1】

図 1 1 は本願發明による波長制御光源の別な例の構成図である。

【図 1 2】

図 1 2 はエタロンの位相差と反射光との關係の例を示す図である。

【図 1 3】

図 1 3 はエタロンの位相差と反射光及び透過光の關係の例を示す図である。

【図 1 4】

図 1 4 は本願發明による波長制御光源の別な例の構成図である。

【図 1 5】

図 1 5 は本願發明による波長ロック光学系の配置の別な例を示す図である。

【図 1 6】

図 1 6 は本願發明による波長ロック光学系の配置の別な例を示す図である。

【図 1 7】

図 1 7 は本願發明による波長ロック光学系の配置の別な例を示す図である。

【図 1 8】

図 1 8 はエタロンの位相差と透過光との關係の例を示す図である。

【図 1 9】

図 1 9 は本願發明による波長ロック光学系の配置の別な例を示す図である。

【図 2 0】

図 2 0 は波長可変半導体レーザ装置の例を示す平面図である。

【図 2 1】

図 2 1 は温度係数を零となすエタロンの例を示す断面図である。

【図 2 2】

図 2 2 は本発明による波長可変方式と I T U - T S グリッドとの関係を説明する図である。

【図 2 3】

図 2 3 は本願発明による波長ロック光学系の配置の別な例を示す図である。

【図 2 4】

図 2 4 は本願発明の波長制御モジュールのサブアセンブリの例を示す平面図である。

【図 2 5】

図 2 5 は本願発明の波長制御モジュールの実装例を示す平面図である。

【図 2 6】

図 2 6 は本願発明の波長制御モジュールの構成例を示す平面図である。

【図 2 7】

図 2 7 は本願発明に係わる波長制御半導体レーザ装置の例を示す平面図である。

【図 2 8】

図 2 8 は本願発明に係わる波長制御半導体レーザ装置の例を示す断面図である。

【図 2 9】

図 2 9 は本願発明に係わる波長制御半導体レーザ装置の制御系の例を示す平面図である。

【図 3 0】

図 3 0 は本願発明に係わる波長制御半導体レーザ装置の制御系の別な例を示す平面図である。

【図 3 1】

図 3 1 は光システムの例を示す基本構成図である。

【符号の説明】

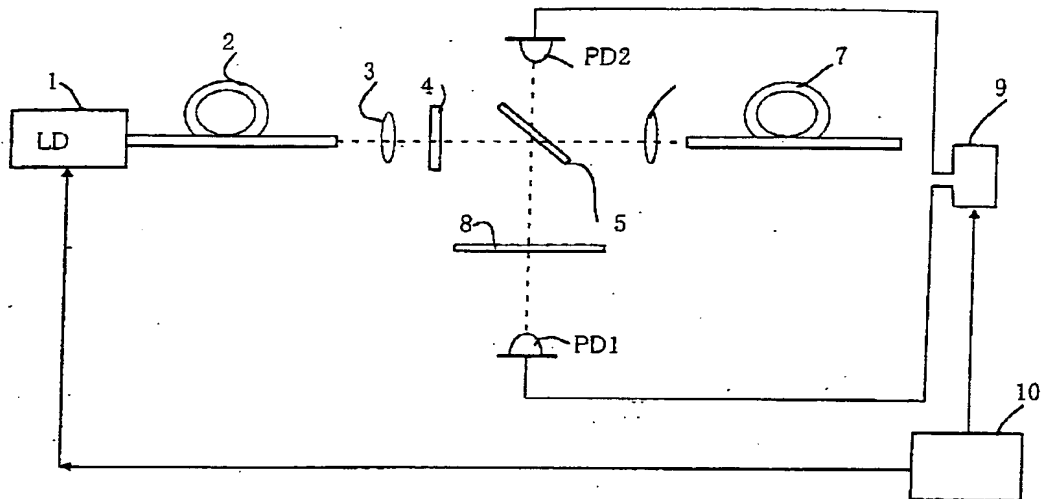
1 0 1 : 波長可変レーザ光源、 1 0 2 : コリメータ、 1 0 3 : 平行光、 1 0 4 :  
ビームスプリッタ、 1 0 5 : 透過光、 1 0 6 : ファブリ・ペローエタロン、 1 0

7 : 透過光、1 0 8 : 反射光、1 0 9 : 光検知器、1 1 0 : 光検知器、1 1 1 : コリメータ、1 1 2 : 光アイソレータ、1 1 3 : 集光レンズ、1 1 4 : 光ファイバ、3 0 1 : FSR、3 0 2 : 誤差信号、3 0 3 : 捕獲領域、4 0 1 : ペルチエ素子、4 0 2 : ペルチエ駆動回路、4 0 3 : サーミスタ、4 0 4 : レーザ光源駆動回路、6 0 1 : ビームスプリッタ、7 0 1 : テーパ付きエタロン、7 0 2、7 0 3 : 光検知器、8 0 1 : 透過ピークのずれ、8 0 2、8 0 3 : 光検知器 7 0 2、7 0 3 の波長変化に対する受光量、あるいは、光電流の変化、9 0 1、9 0 2 : 屈折率、または、機械長のことなるエタロン、1 5 0 : 半導体レーザ、1 5 1 : 薄膜ヒータ、1 5 2 : 半導体レーザの電極、1 5 3 : 電界吸収型変調器、1 5 4 : 変調器の電極、1 6 1、1 6 2 : ガラス材料、1 6 3 : シリコンゲル、1 7 0 : 半導体メモリ、1 7 1 : 設定値、8 5 0 : 1 4 ピンパッケージ、8 5 1 : 基板、8 5 2 : サブアセンブリ、9 5 0 : 薄膜ヒータ、9 5 1 : 半導体レーザ、9 5 2 : 導波路、9 5 3 : 波長合分波器、9 5 4 : 半導体光増幅器、9 5 5 : 電界吸収型変調器、9 5 6 : コリメータレンズ。

【書類名】 図面

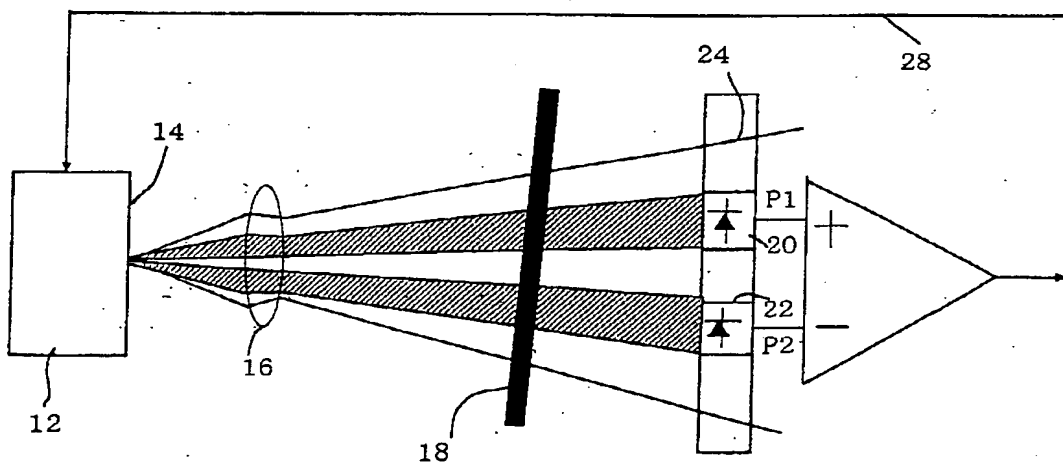
【図 1】

図 1



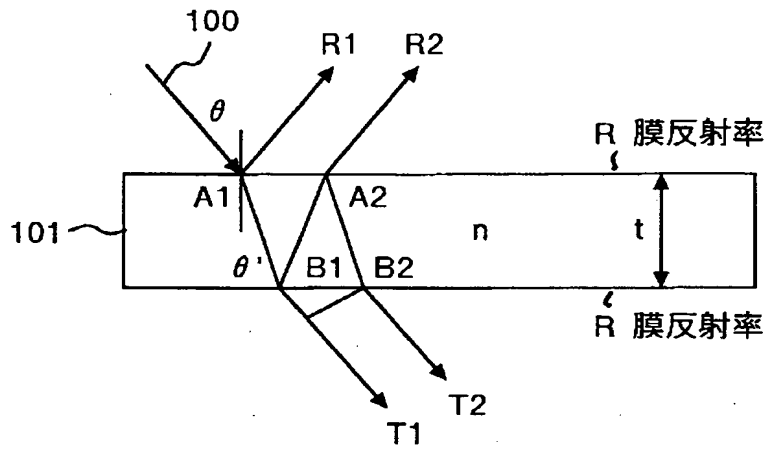
【図 2】

図 2



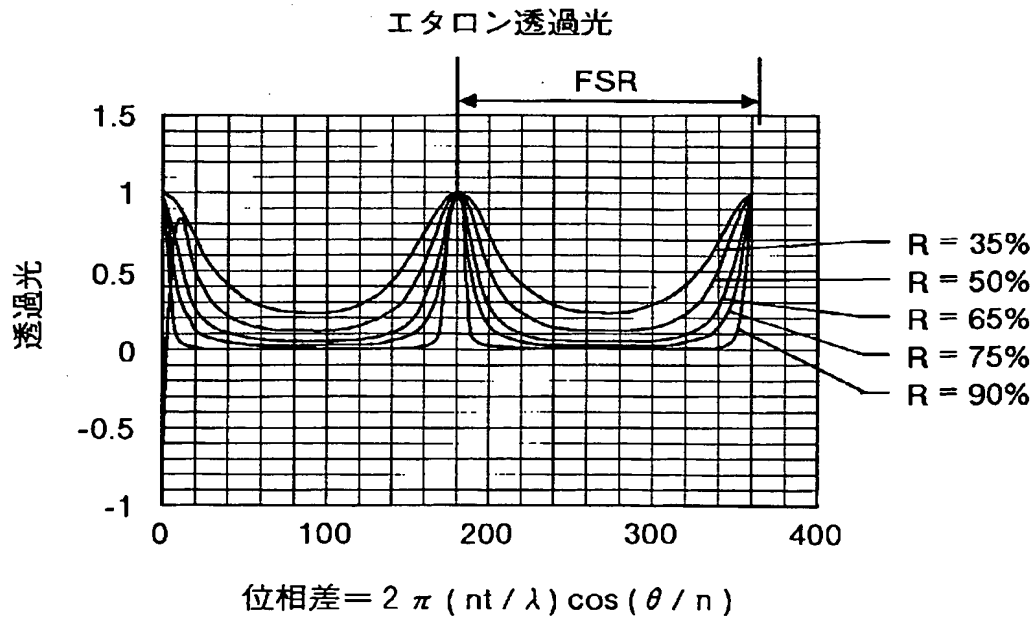
【図3A】

図 3 A



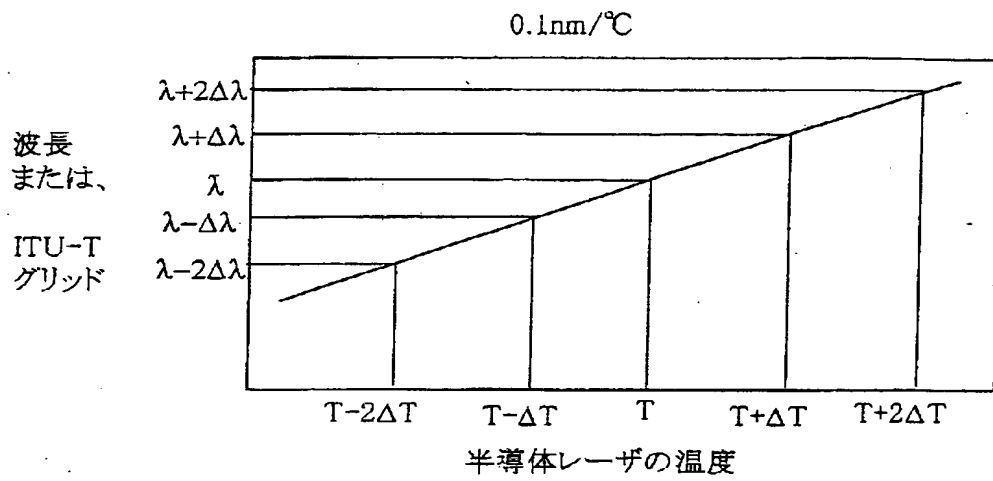
【図3B】

図 3 B



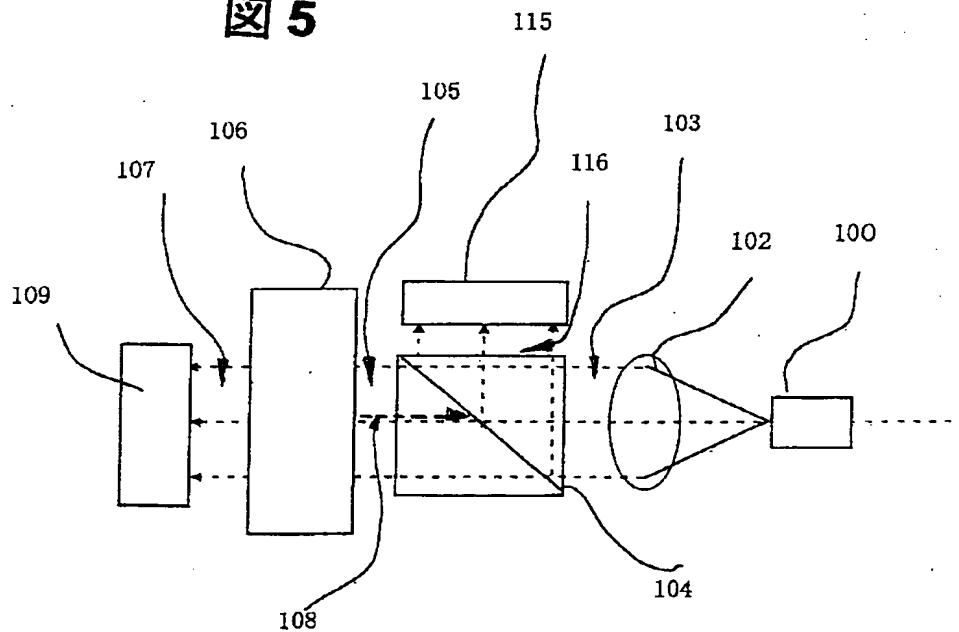
【図 4】

図 4



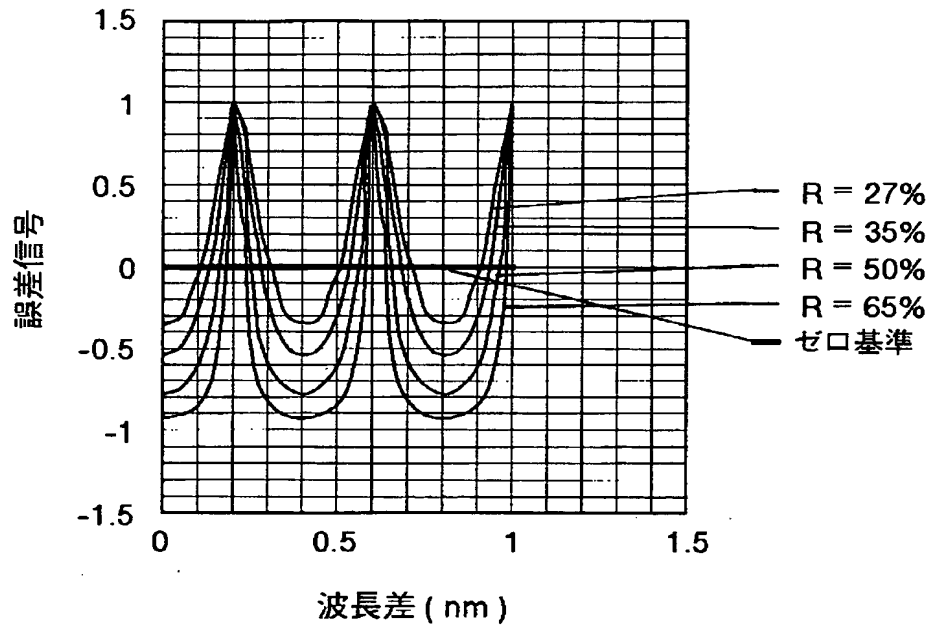
【図 5】

図 5



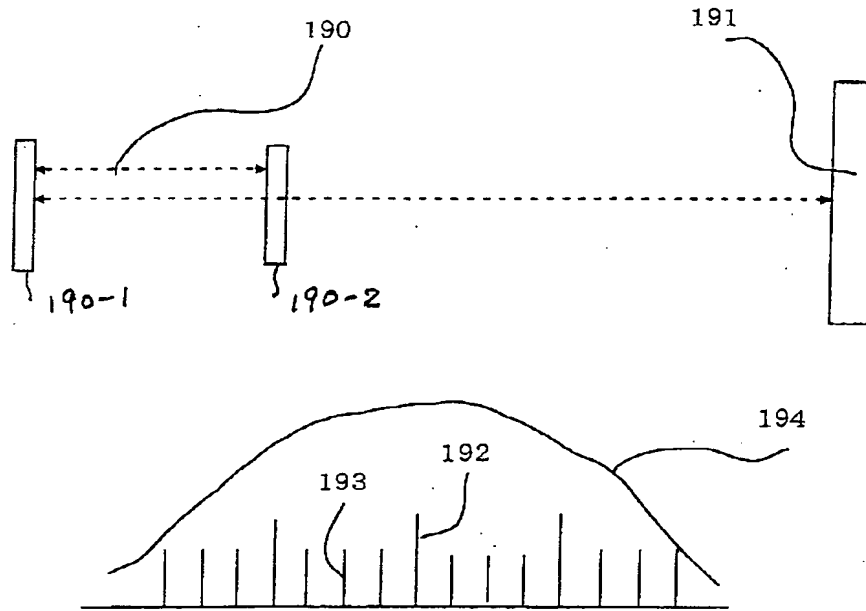
【図 6】

図 6



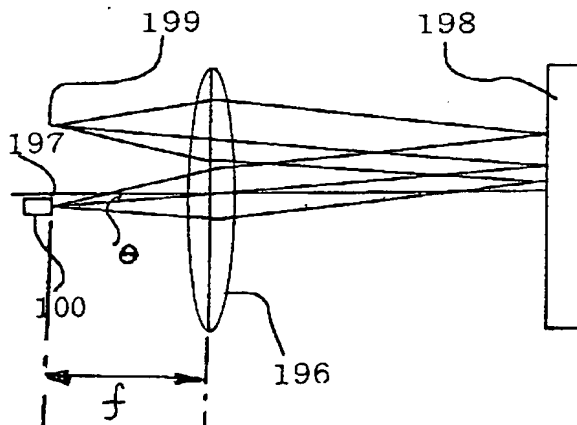
【図 7】

図 7



【図 8 A】

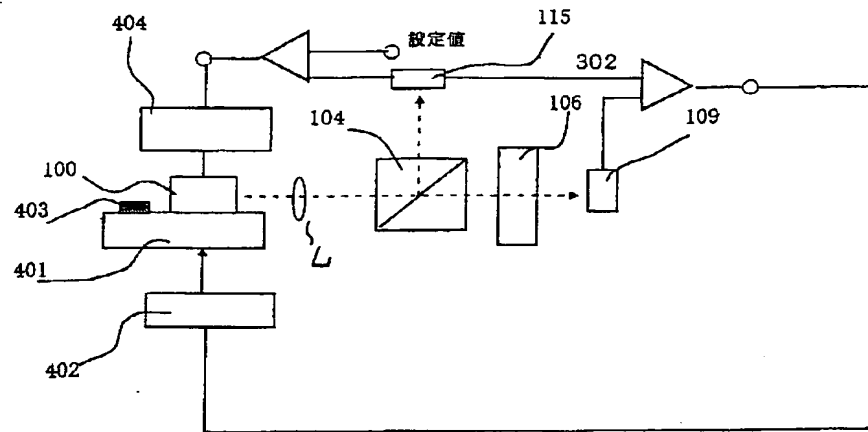
図 8A





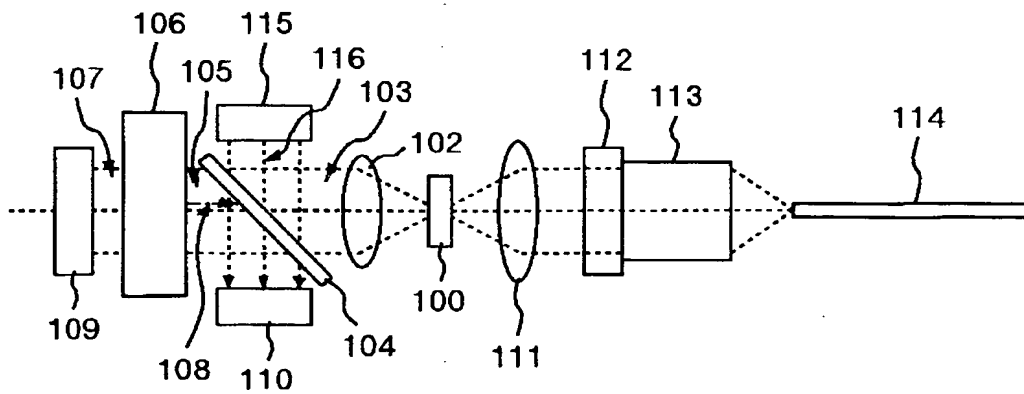
【図 10】

**图 10**



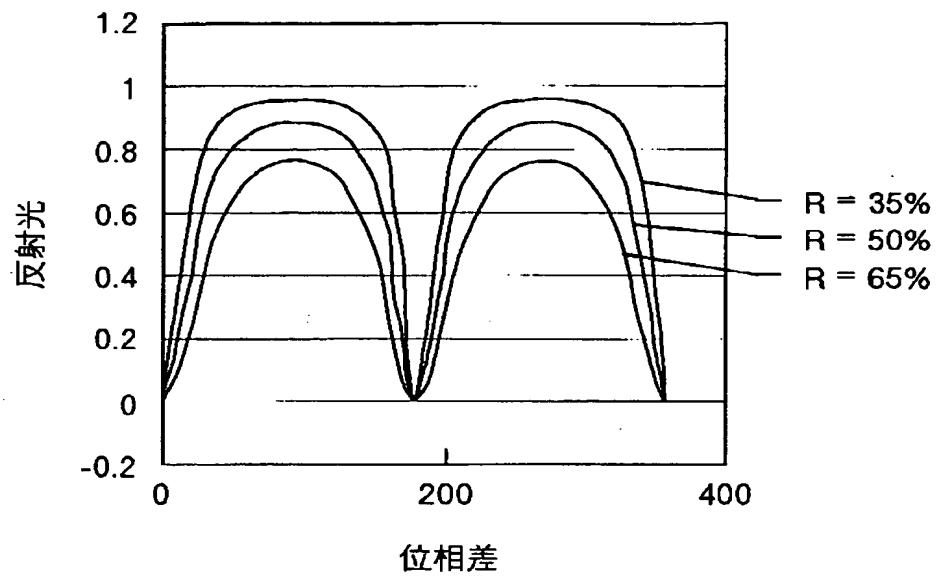
【図 1 1】

圖 11



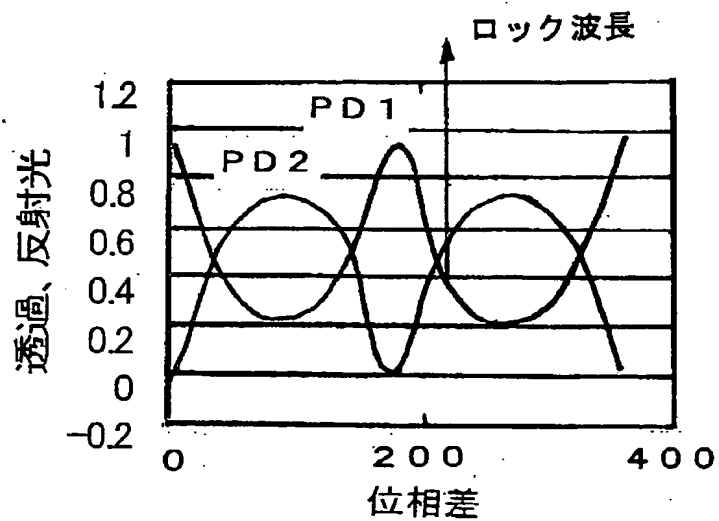
【図 1 2】

図 1 2



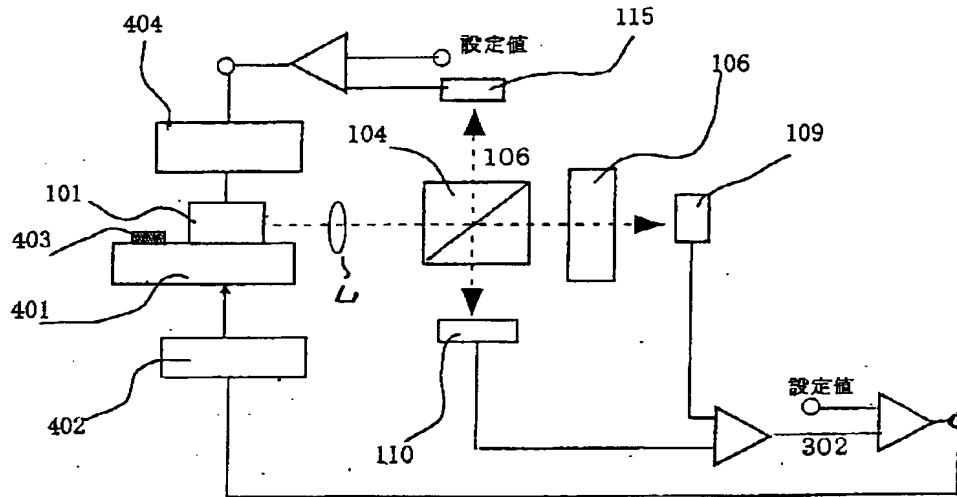
【図 1 3】

図 1 3



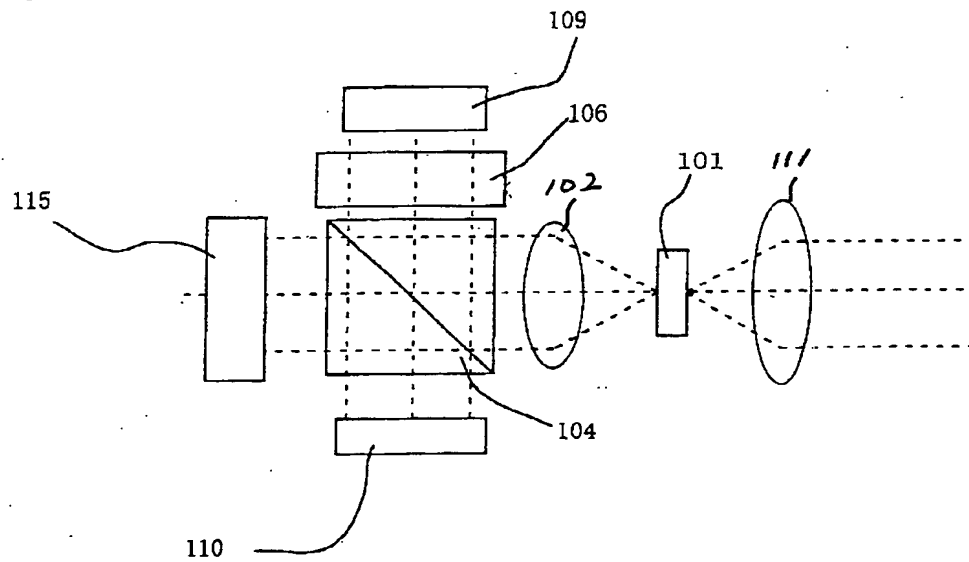
【図 1 4】

図 14



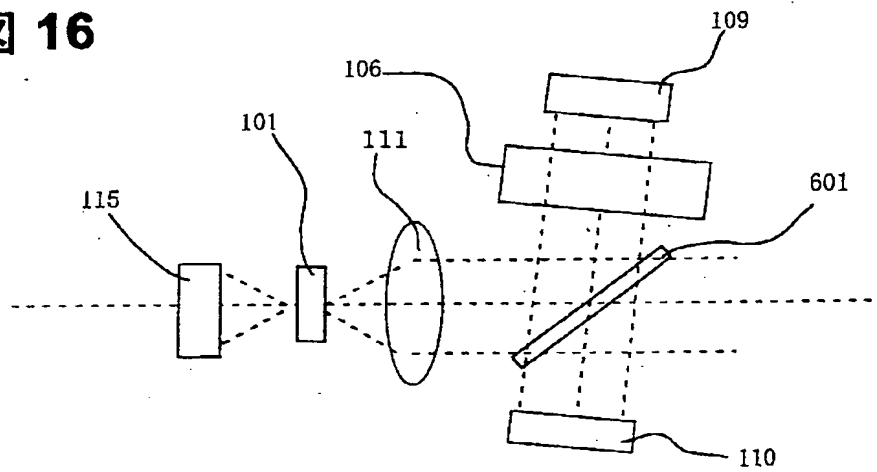
【図 1 5】

図 15



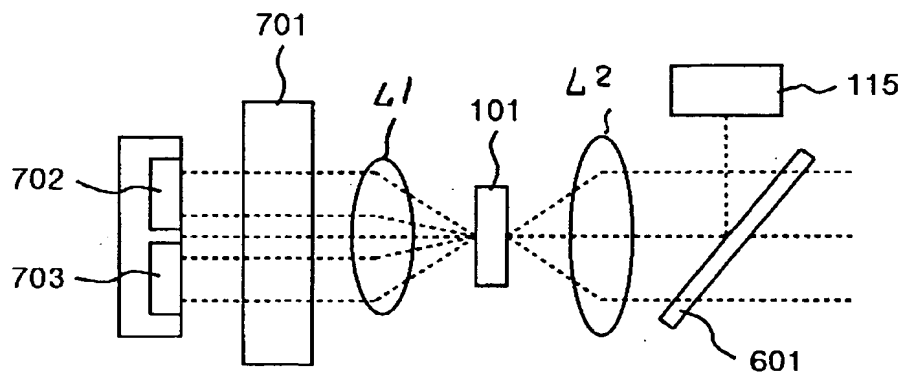
【図 1 6】

図 1 6

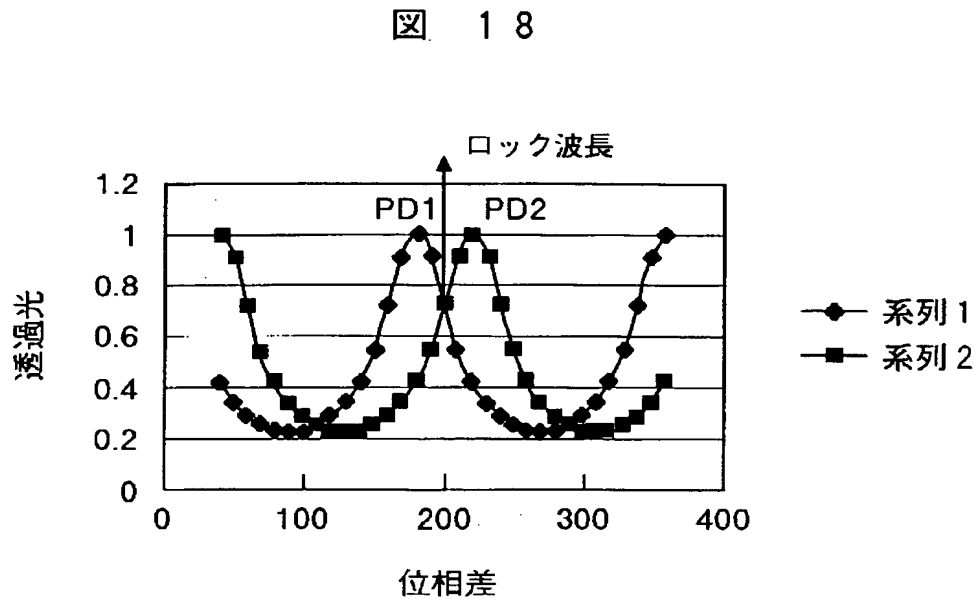


【図 1 7】

図 1 7

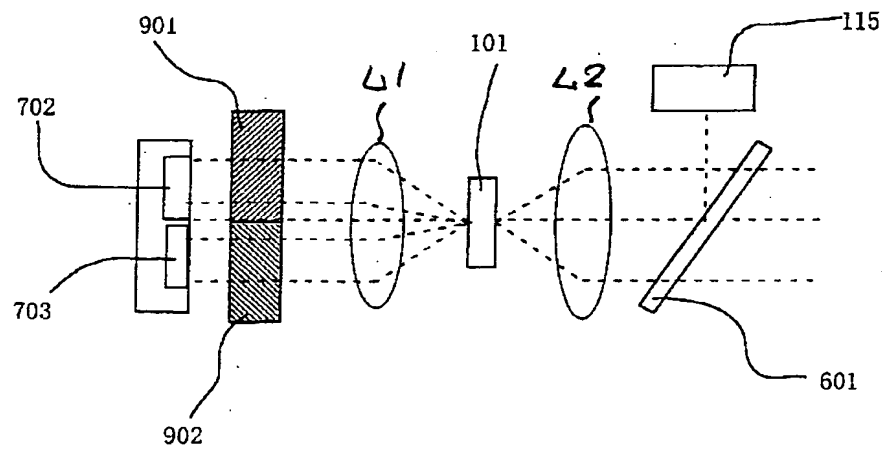


【図 1 8】



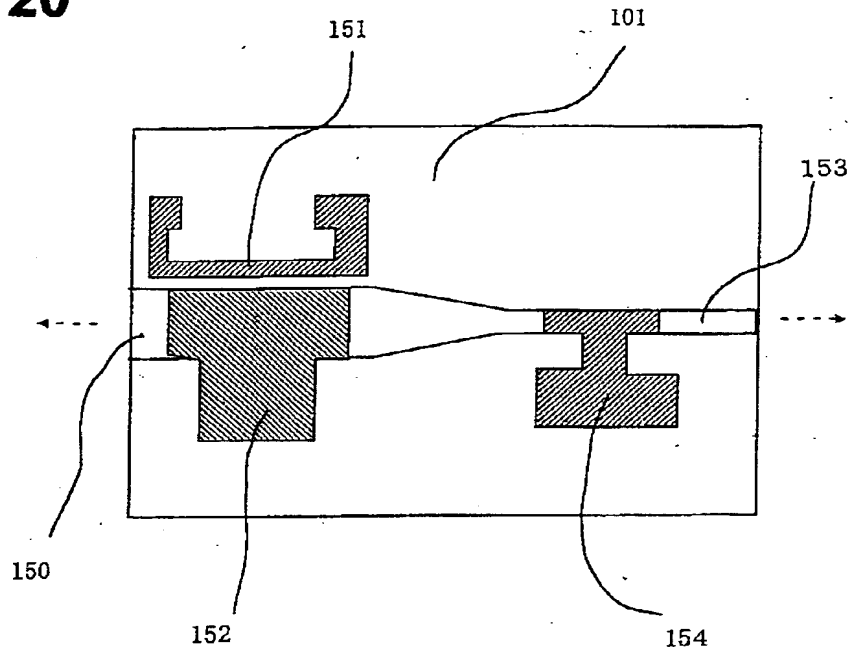
【図 1 9】

図 19



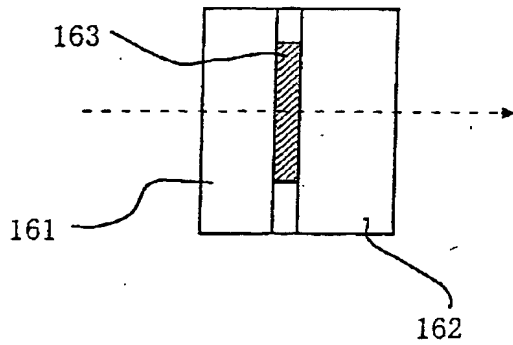
【図 2 0】

図 20



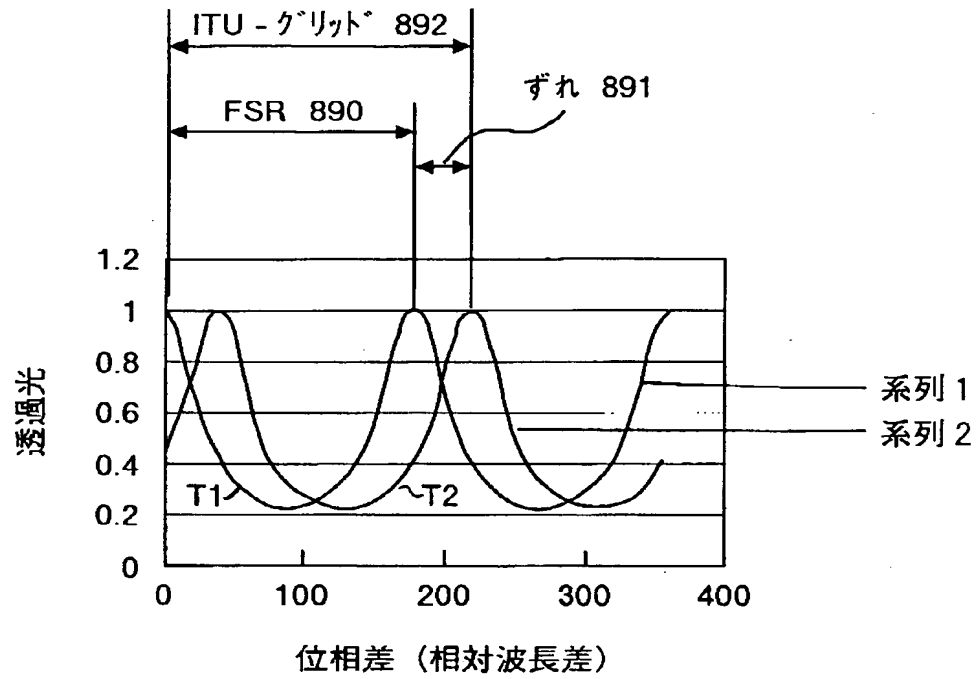
【図 2 1】

図 21



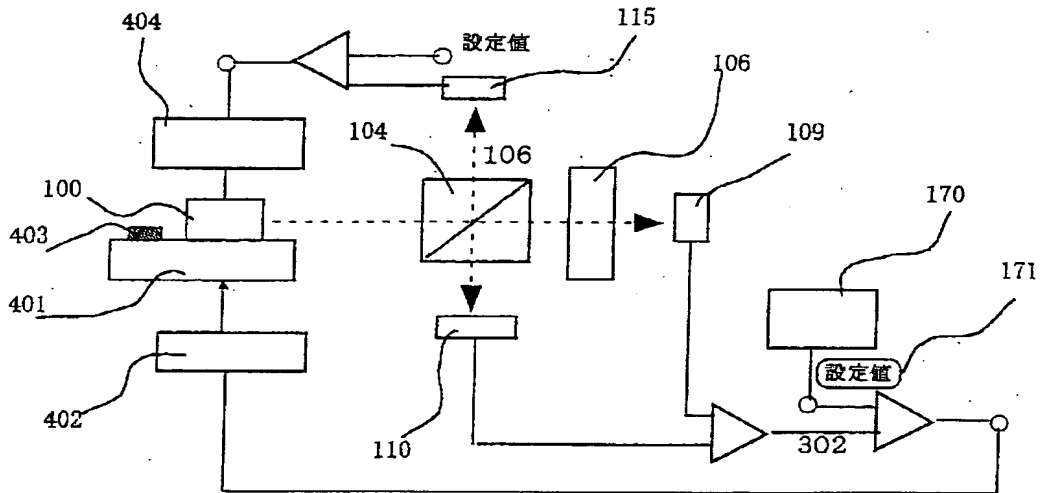
【図 2 2】

図 2 2



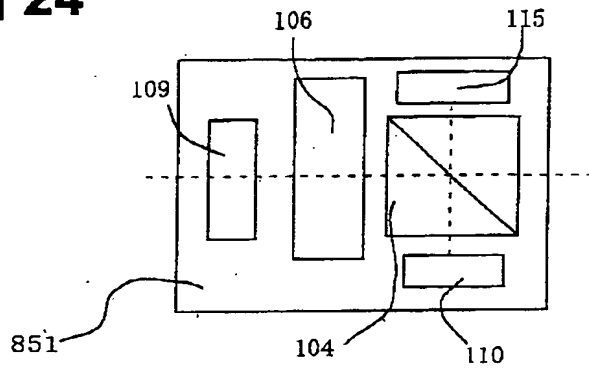
【図 2 3】

図 23



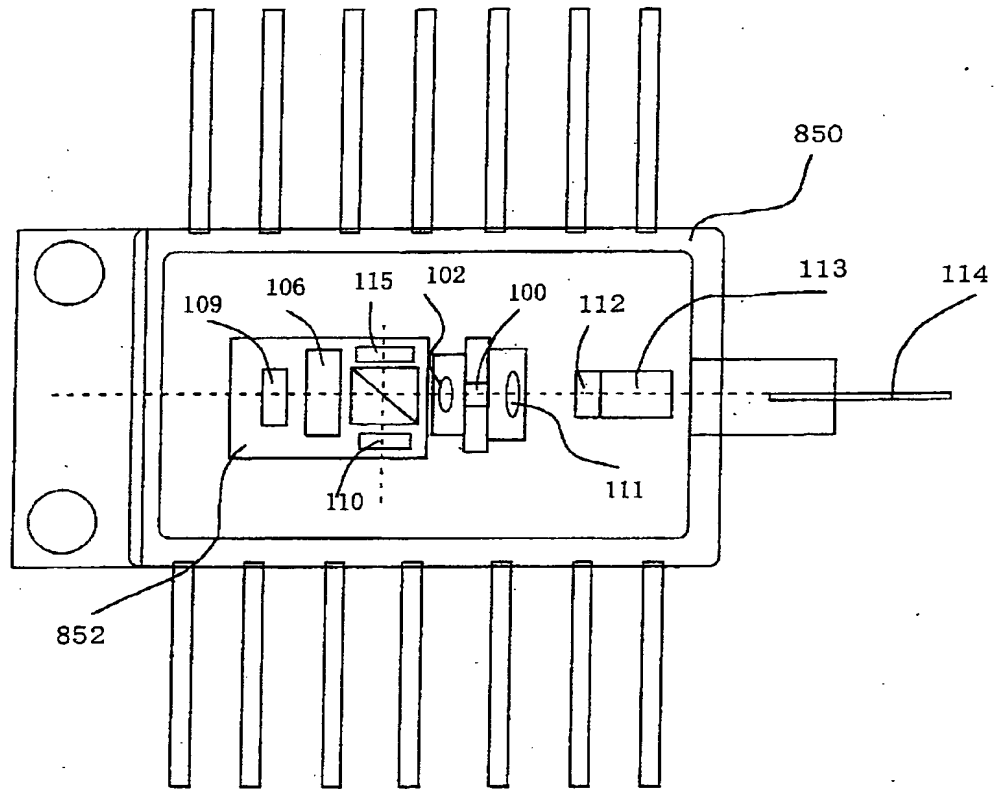
【図 2 4】

図 24



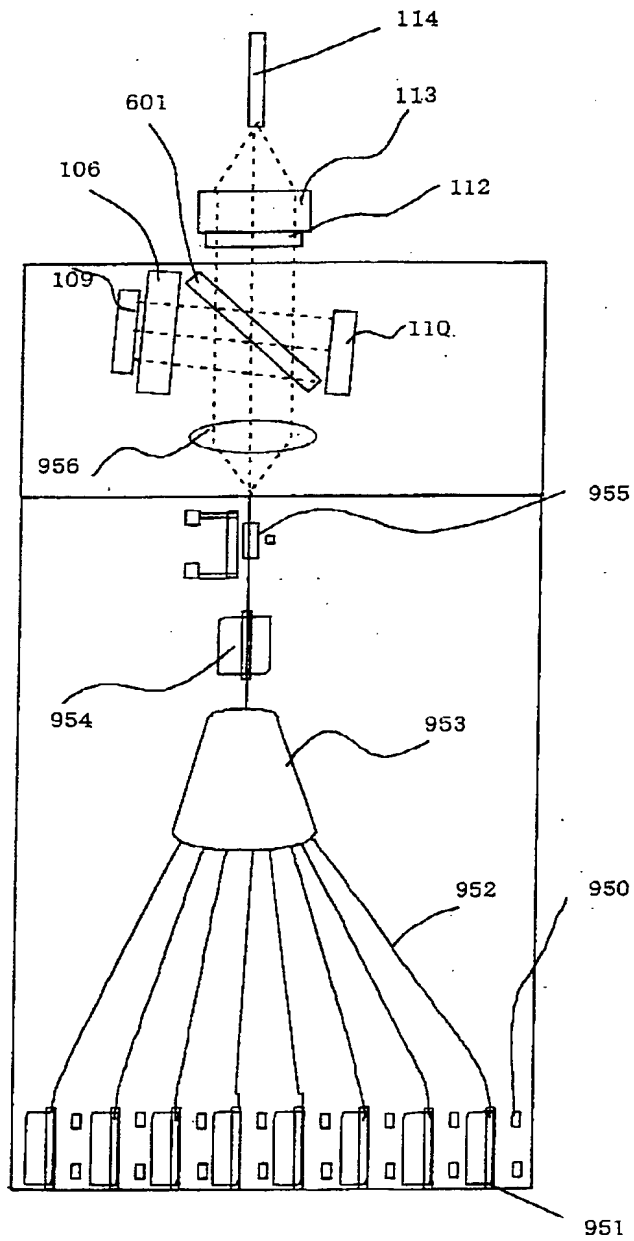
【図 2 5】

図 25



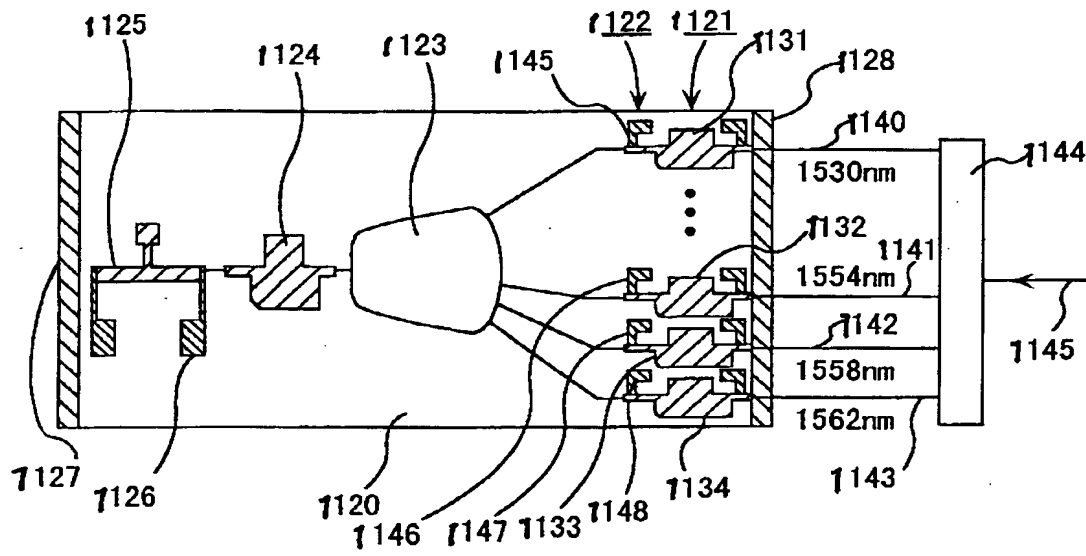
【図 26】

図 26



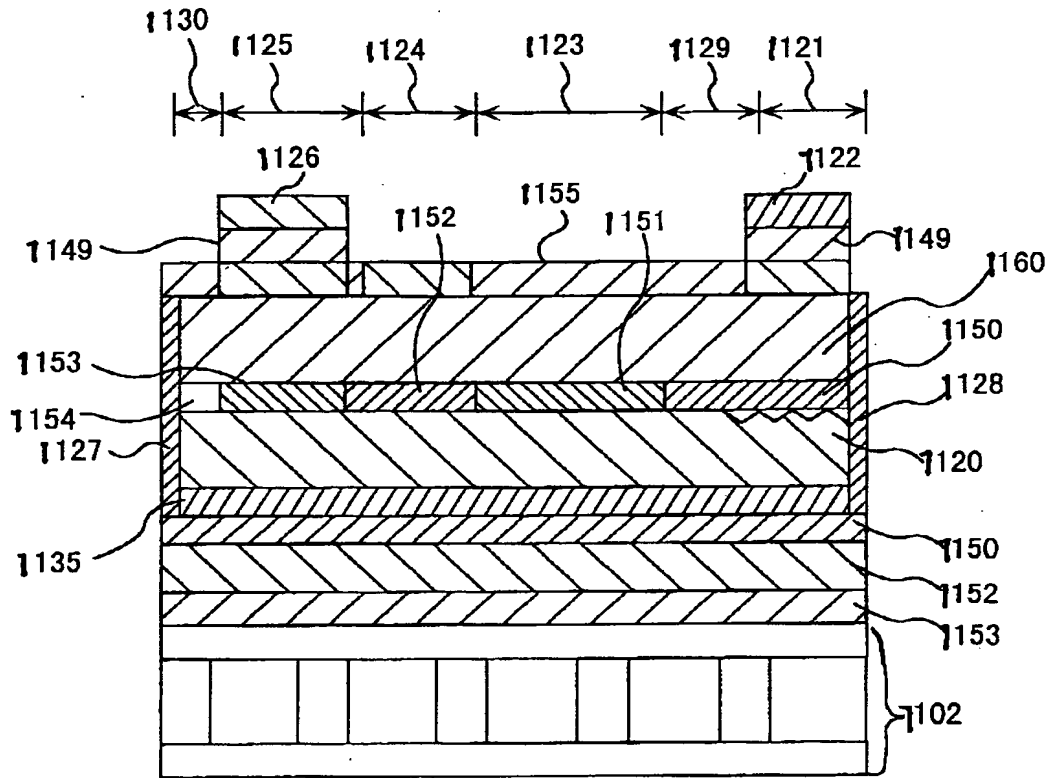
【図 2 7】

図 27



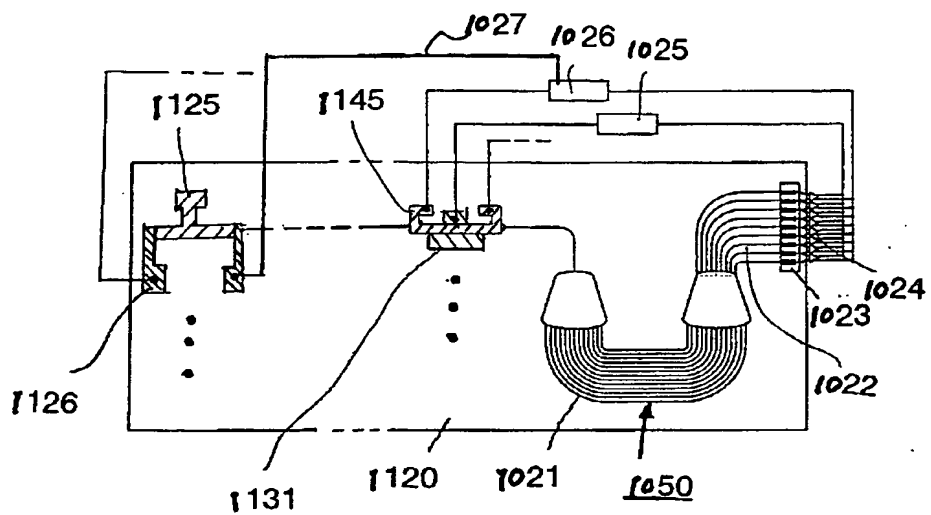
【図 2 8】

図 28

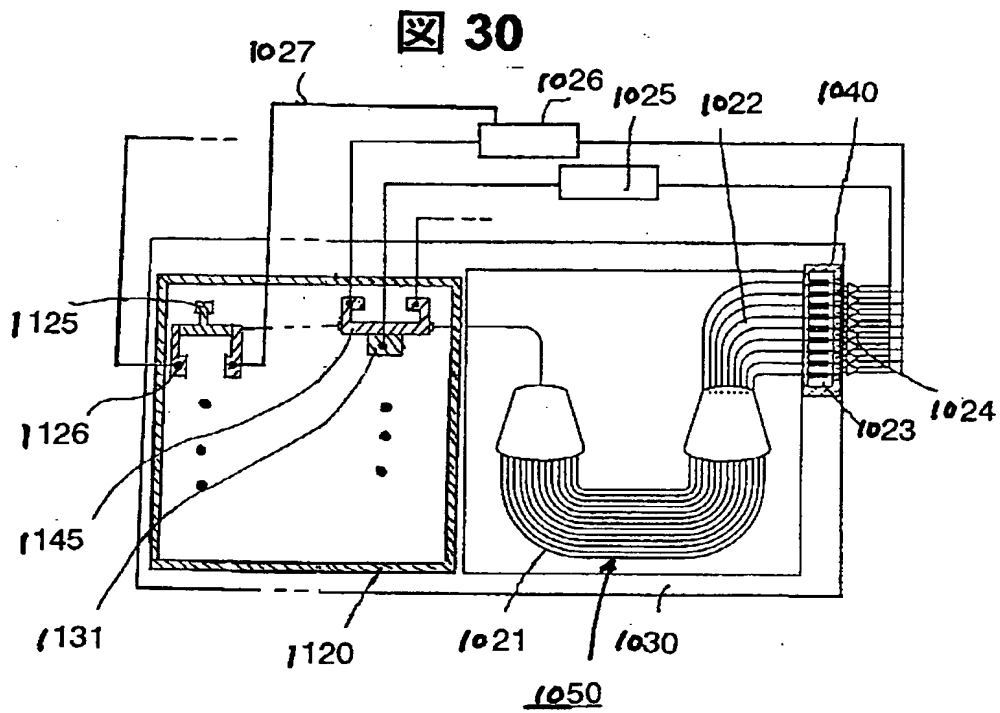


【図 2 9】

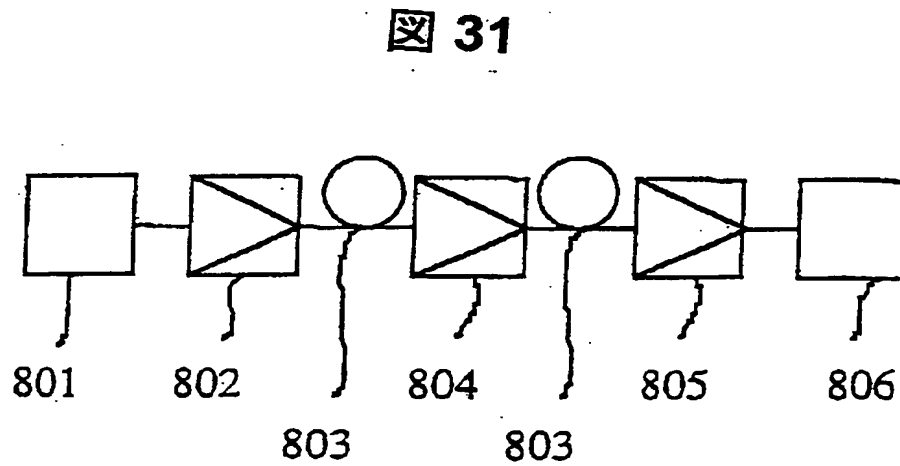
図 29



【図 3 0】



【図 3 1】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本願発明の目的は波長シフトが生じないように発振波長を制御することである。更には、波長多重光通信システム用光源の波長をITU-TSグリッドに合わせて可変にすることである。

【解決手段】 本願発明はコリメータレンズで平行平面波にした半導体レーザ光の光路中にエタロンを配置し、透過光、あるいは、反射光の分割された光同士の差を波長誤差信号として半導体レーザ装置の波長をロックする。

【選択図】 図5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005108]

1. 変更年月日 1990年 8月31日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地  
氏 名 株式会社日立製作所